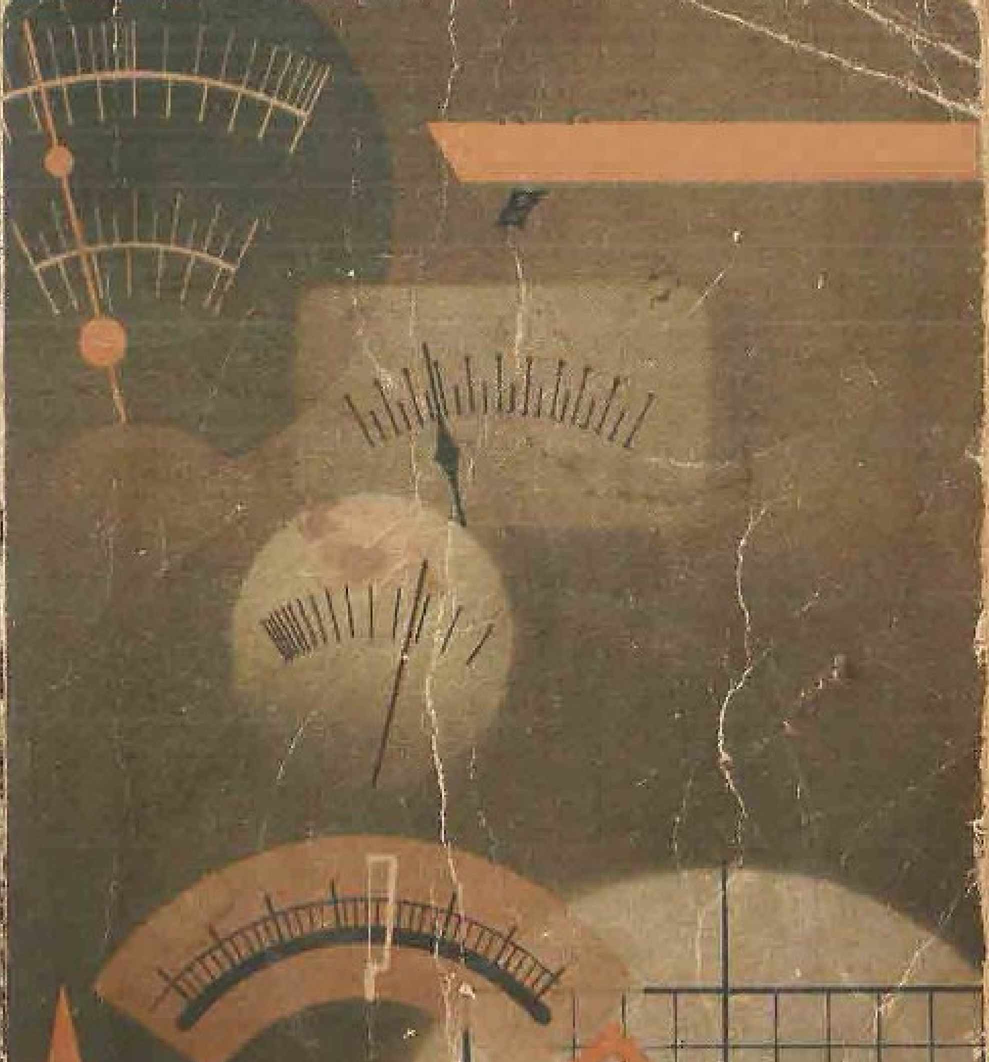


Aparate de măsurat și măsurări electrice uzuale

EDITURA TEHNICĂ

Prof. Dr Ing. I. S. ANTONIU

APARATE DE MĂSURAT ŞI MĂSURĂRI ELECTRICE UZUALE

EDIŢIA A DOUA REVĂZUTĂ ŞI ADĂUGITĂ

E D I T U R A T E H N I C Ă
BUCUREŞTI — 1962

PREFAȚĂ LA EDIȚIA a II-a

Epuizarea, într-un timp destul de scurt, a primei ediții a acestei lucrări a arătat necesitatea ce se simte în literatura tehnică romînească pentru asemenea manuale practice.

Dezvoltarea industriei electrotehnice și energetice, a industriei în general, automatizarea proceselor de producție, progresele realizate de electrificări, au făcut ca oamenii muncii să se intereseze din ce în ce mai mult de problemele speciale ale electrotehnicii; această dorință de informare și instruire nu apare numai la cei care lucrează direct în diversele ramuri ale electrotehnicii; ea a apărut aproape într-o aceeași măsură și la cei care n-au deloc sau au prea puține contingențe cu tehnica electricității.

Aceasta este o a doua cauză — și poate cea principală — a ritmului de epuizare a acestei lucrări.

Prin reeditarea lucrării, Editura Tehnică pune la îndemîna oamenilor muncii un material ușor accesibil care, deși de strictă specialitate, le dă posibilitatea să se documenteze și să-și însușească anumite elemente necesare ridicării nivelului lor profesional.

În această a doua ediție lucrarea a fost complet revăzută, îndepărtîndu-se tot ce părea inutil și adăugîndu-se un număr de chestiuni care ni s-au părut interesante și actuale.

Astfel a fost introdus un capitol nou privind oscilografele de toate categoriile, acest tip de aparat nelipsind astăzi din nici un laborator de electrotehnică; s-au introdus paragrafe noi privind logometrele, etalonările de precizie, date privind consumul propriu al aparatelor de măsurat etc. De asemenea, materialul ilustrativ a fost îmbogățit.

În aceste condiții nădăjduim că lucrarea va putea răspunde necesităților marelui număr de tehnicieni care se interesează de chestiunile de măsurători electrice și care vor găsi astfel răspuns la cît mai multe din problemele pe care practica și locul lor de muncă le cere a rezolva.

15 februarie 1962

Prof. Dr. Ing. ION S. ANTONIU

PREFAȚĂ LA EDIȚIA I

Lucrarea de față a fost întocmită în scopul de a pune la îndemîna tehnicienilor de toate categoriile un material de instruire și informare în legătură cu una dintre problemele practice ce sînt chemați a rezolva: efectuarea măsurărilor electrice.

Ea a fost alcătuită din prelucrarea și completarea unei lucrări mai vechi a autorului „Instrumente de măsură electrice industriale în exploatările de electricitate", apărută în a doua ediție în anul 1948, lucrare premiată de fosta Academie Romînă.

Lucrarea cuprinde următoarele părți: principii de funcționare și construcție, în care se dau principiile generale de construcție și de funcționare a aparatelor de măsurat; descrierea aparatelor de măsurat uzuale și a unor dispozitive auxiliare folosite în măsurări; despre constantele aparatelor de măsurat și despre modul de efectuare a măsurărilor; măsurări diverse în curent continuu și alternativ, în care se dă și descrierea unor tipuri de aparate speciale; despre etalonarea aparatelor de măsurat; descrierea unor aparate universale cum și a aparatajului și metodelor folosite pentru sincronizare. Lucrarea se încheie cu o parte care tratează măsurarea rezistențelor, a inductanțelor, a capacităților și a forțelor electromotoare.

Lucrarea cuprinde numeroase scheme și figuri, astfel ca textul să poată fi cît mai ușor de înțeles. Au fost folosite numai demonstrațiile matematice strict necesare, în general dîndu-se direct formulele care se utilizează la efectuarea măsurării diverselor mărimi. S-a insistat mai mult asupra calculelor numerice pentru ca, prin exemple concrete, să se poată înțelege și învăța mai ușor mecanismul efectuării unei anumite măsurări.

Prof. Dr. Ing. ION S. ANTONIU

CAPITOLUL I

PRINCIPII DE FUNCȚIONARE ȘI DE CONSTRUCȚIE

A. Principii de funcționare

1. Dacă printr-un conductor așezat deasupra și de-a lungul unui ac magnetic în repaus trece un curent electric constant avînd sensul indicat în fig. 1, acul magnetic se va roti, polul său nord deplasîndu-se spre răsărit. Dacă conductorul este așezat dedesubtul acului magnetic, iar curentul are același sens, polul nord se va deplasa spre apus. Dacă, însă, sensul curentului se modifică, poziția relativă a conductorului față de acul magnetic rămînînd aceeași, polul nord se va deplasa spre apus — cînd conductorul se găsește deasupra acului — și spre răsărit — cînd conductorul se află dedesubtul acului.

Sensul în care se deplasează acul magnetic poate fi determinat pe baza următoarei reguli : *dacă presupunem un om culcat de-a lungul conductorului, cu fața spre acul magnetic și așezat astfel încît curentul electric să circule în conductor de la picioarele omului către cap, el vede că polul nord al magnetului se deplasează spre mîna sa stîngă (fig. 1).*

Dacă, fără să modificăm poziția acului față de conductor, mărim valoarea curentului deplasarea acului magnetic crește. Totuși, oricît ar fi de mare curentul, acul nu se rotește cu mai mult de 90°, poziția sa limită fiind pe direcția răsărit-apus.

Această experiență pune în evidență acțiunea mecanică pe care o exercită curentul continuu asupra unui ac magnetic aflat în apropierea unui conductor parcurs de acel curent. Curentul acționează asupra acului prin intermediul cîmpului magnetic pe care îl produce în jurul conductorului prin care trece.

2. Să luăm un magnet permanent în formă de potcoavă, iar între polii lui (*NS*) să suspendăm un mic cadru, foarte ușor, pe care am bobinat un conductor subțire și ușor. Dacă prin conduc-

tor circulă un curent avînd un sens determinat, cadrul se va roti în jurul axului de suspensie, căutînd să ia poziția perpendiculară pe direcția nord-sud a polilor magnetului (fig. 2). În adevăr, cînd un curent electric parcurge spirele unei bobine, acea bobină capătă un pol nord și un pol sud, ca și un magnet; bobina poate fi, deci, asemuită cu un magnet — și, după cum se știe, polii de nume contrar ai magneților se atrag.

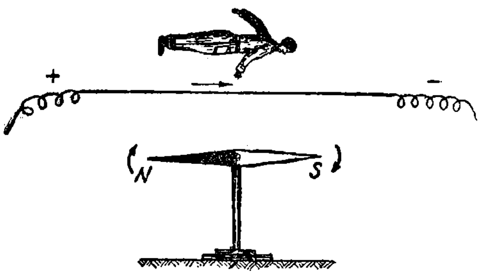


Fig. 1. Acțiunea mecanică a unui curent constant asupra unui ac magnetic în repaus.

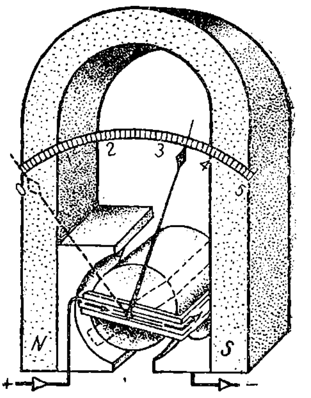


Fig. 2. Principiul de funcționare a unui aparat magnetoelectric.

Dacă se modifică sensul curentului electric care parcurge bobina, fără a se schimba poziția ei față de magnetul permanent, polii bobinei se vor inversa, astfel încît bobina se va roti în sens contrar. Pentru a determina care va fi sensul de rotație al bobinei cînd cunoaștem sensul curentului electric, aplicăm următoarea regulă: *acel capăt al bobinei, la care curentul circulă în sensul de mișcare al acelor unui ceasornic, este denumit polul sud al bobinei; cunoscînd polii bobinei și cei ai magnetului permanent se poate determina sensul în care se va roti bobina, polii de același nume respingîndu-se, iar cei de nume contrar atrăgîndu-se.*

Acțiunea reciprocă între magnetul permanent și bobină are loc prin intermediul cîmpurilor magnetice produse de magnet și de curentul care parcurge conductorul.

Fenomenul de mișcare a acului magnetic în cîmpul magnetic produs de un curent continuu și fenomenul de mișcare a unei bobine parcurse de un curent constant în cîmpul unui magnet permanent au fost folosite pentru construirea unor aparate electrice de măsurat. Aparatele care au la bază principiul interacțiunii dintre un curent și cîmpul unui magnet permanent sînt denumite aparate *cu magnet permanent și cu cadru mobil* sau

aparate magnetoelectrice. Aparatele magnetoelectrice nu pot fi folosite decît în curent continuu ; de aceea, pentru efectuarea cu aceste aparate, a măsurării unor mărimi alternative se redresează [1]) întîi curentul alternativ din circuitul de măsurare. Se obțin, astfel, aparate magnetoelectrice cu redresoare.

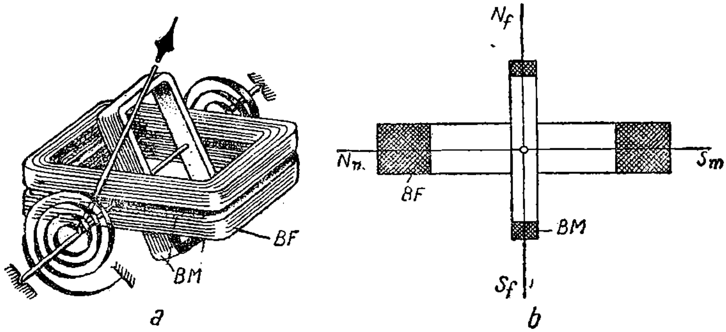


Fig. 3. Principiul de funcționare a unui aparat electrodinamic:

BF — bobina fixă ; BM — bobina mobilă ; N_m — S_m — direcția polilor bobinei mobile ; N_f — S_f — direcța polilor bobinei fixe.

3. Cînd prin spirele — regulat înfășurate pe un cadru — ale unei bobine circulă un curent, bobina capătă proprietățile unui magnet ; deci, între două bobine parcurse de curenți, vor exista forțe de atracție sau de respingere, ca între doi magneți.

Dacă, folosindu-se această proprietate, se înlocuiește magnetul permanent al unui aparat de măsurat magnetoelectric printr-o asemenea bobină (bine înțeles menținîndu-se cealaltă bobină a aparatului), se obține un alt aparat de măsurat, care aparține clasei de aparate numite *electrodinamice* (fig. 3, *a*). La aceste aparate, una dintre bobine este fixă (*BF*), iar cealaltă mobilă (*BM*). Pentru ca aparatul să poată funcționa, trebuie ca prin ambele bobine să circule curenți electrici (produși fie de aceeași sursă, fie de surse diferite). În funcție de modul în care aceste două bobine sînt legate și de sursele de alimentare, se realizează aparate capabile să măsoare diferite mărimi electrice.

Principiul de funcționare al acestor aparate de măsurat este ușor de înțeles : în poziția inițială, cînd prin spirele bobinelor nu circulă curent, axele acestora sînt perpendiculare între ele (fig. 3, *b*). La trecerea unor curenți prin bobine, întrucît direcția polilor nord-sud a unei bobine coincide cu axa celeilalte și de-

---

[1]) Redresarea este operația de transformare a curentului alternativ în curent continuu (vezi p. 111).

oarece polii de nume contrar vor căuta să se atragă, bobina mobilă se va roti, direcţia polilor săi (N_m-S_m) tinzînd a se suprapune peste direcţia polilor bobinei fixe (N_f-S_f).

Bobina mobilă se va roti cu atît mai mult, cu cît curenţii din cele două bobine vor fi mai mari şi, deci, cu cît atracţia dintre polii lor de nume contrar va fi mai mare.

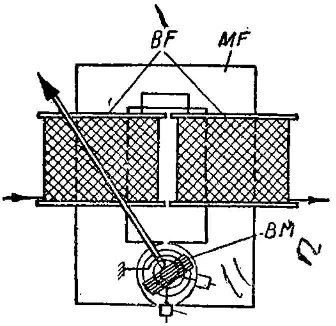


Fig. 4. Schema de principiu a unui aparat electrodinamic cu fier (ferodinamic):
BF – bobină fixă ; BM – bobină mobilă ; MF – miez de fier.

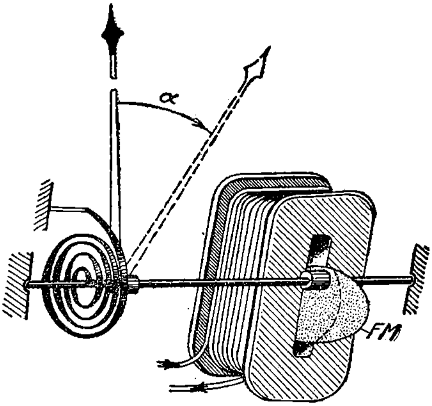


Fig. 5. Principiul de funcţionare a unui aparat electromagnetic (de atracţie).

Există aparate electrodinamice la care pentru a se mări forţele de atracţie între bobine se înfăşoară bobina fixă (BF) pe un miez de fier ; acestea se numesc aparate electrodinamice cu fier sau aparate *ferodinamice* (fig. 4).

4. O bobină parcursă de un curent electric are şi proprietatea de a atrage bucăţi de fier moale, nemagnetizate ; presupunînd că bucata de fier se află de fiecare dată la aceeaşi distanţă de bobină, forţa de atracţie este cu atît mai mare, cu cît valoarea curentului care trece prin spire este mai mare (mai precis, forţa creşte proporţional cu pătratul curentului). Aparatele de măsurat construite pe principiul forţei de atracţie pe care o exercită o bobină parcursă de un curent asupra unei bucăţi de fier moale (FM) sînt denumite aparate *electromagnetice* de atracţie (fig. 5). Tot din clasa aparatelor *electromagnetice* fac parte şi cele bazate pe forţa de respingere ce se exercită între două piese din fier moale, ambele fiind magnetizate de curentul care trebuie măsurat şi care parcurge înfăşurarea unei bobine.

Acestea se numesc aparate *electromagnetice* de respingere (fig. 10, B).

5. Un conductor parcurs de un curent electric se încălzește, iar — prin încălzire — se dilată (fig. 6). Încălzirea conductorului este cu atît mai mare, cu cît curentul este mai mare, iar dilatarea sa este proporțională cu pătratul valorii curentului care circulă prin conductor. Pe acest principiu au fost construite aparatele electrice de măsurat denumite *aparate termice*. Tot din clasa aparatelor termice fac parte și

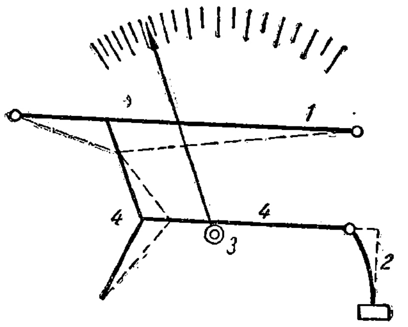


Fig. 6. Schema de principiu a unui aparat termic (cu fir cald) :

1 — conductorul încălzit ; 2 — resort ; 3 — axul acului indicator ; 4 — pîrghii prin care se transmite mișcarea.

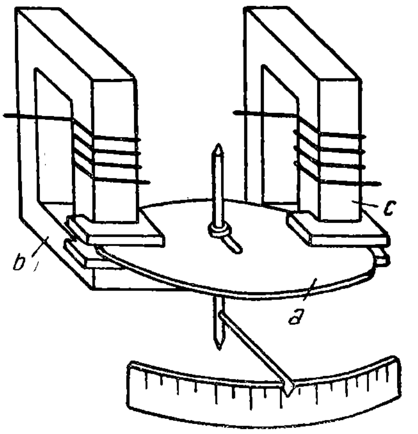


Fig. 7. Principiul de funcționare a unui aparat de inducție :

a — discul mobil ; b, c — electromagneți.

aparatele construite, folosind funcționarea unui bimetal [1]), care fiind încălzit de un curent electric se deformează, de asemenea, proporțional cu pătratul valorii curentului.

6. Dacă pe un ax mobil se fixează un disc (sau un cilindru), construit dintr-un material nemagnetic (alamă, cupru sau aluminiu) și dacă acest disc se află sub acțiunea unuia sau a mai multor electromagneți alimentați cu curent alternativ, discul se pune în mișcare. Pentru punerea în mișcare a discului este necesar ca electromagnetul, sau electromagneții, să producă cel puțin două fluxuri magnetice alternative defazate între ele cu un unghi oarecare. În acest caz, mișcarea este datorită acțiunii dintre curenții de inducție (curenții turbionari sau Foucault) care iau naștere în disc, din cauza fluxurilor magnetice care străbat discul, și înseși aceste fluxuri magnetice. Pe acest principiu au fost construite aparatele de măsurat denumite *aparate de inducție* (fig. 7). Aceste aparate funcționează numai în curent alternativ.

[1]) Bimetal = produs tehnic realizat prin îmbinarea pe cale mecanică a două metale cu coeficienți de dilatare diferiți.

7. Dacă la cele două armături ale unui condensator (*A* și *B*) se aplică o tensiune electrică, între acestea apare o forță de atracție care este cu atît mai mare, cu cît tensiunea aplicată este mai mare. Pe baza acestei proprietăți s-au construit aparate de măsurat, denumite *aparate electrostatice* (fig. 8).

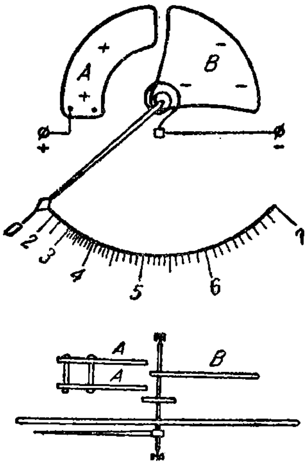


Fig. 8. Principiul de funcționare a unui aparat electrostatic:

A – armătură fixă ; B – armătura mobilă.

*
* *

Realizarea unor aparate electrice de măsurat pe baza principiilor enumerate constă — după cum se vede din fig. 1-8 — în transformarea mișcării părții mobile a aparatului în indicații corespunzătoare valorii mărimii electrice care se măsoară, prin intermediul, de exemplu, al unui ac indicator.

*
* *

Rezumînd, rezultă că, din punctul de vedere al principiului de funcționare, există șase mari clase de aparate electrice de măsurat și anume :

— aparate cu magnet permanent și cadru mobil (magnetoelectrice);
— aparate electromagnetice ;
— aparate electrodinamice ;
— aparate termice ;
— aparate de inducție ;
— aparate electrostatice.

Mai există aparate de măsurat bazate și pe alte principii, cum sînt aparatele electronice, electrolitice etc., descrierea detaliată a acestor aparate ieșind din cadrul acestei lucrări.

8. Aparatele electrice de măsurat pot fi clasificate — în afară de clasificarea după principiul de funcționare — și după felul curentului, după modul de utilizare, după construcție etc. Astfel :

a. După felul curentului, aparatele pot fi :

1) de curent continuu ;
2) de curent alternativ.

Toate aparatele construite pe baza principiilor descrise pot fi utilizate în curent continuu, în afară de aparatele de inducție,

deoarece inducția electromagnetică, pe care se bazează funcționarea acestora, nu poate fi produsă — în condițiile de funcționare ale aparatelor de măsurat — decît de curenții alternativi.

Aparatele cu magnet permanent și bobină mobilă nu pot fi folosite în curent alternativ, deoarece mișcarea părții lor mobile este direct proporțională cu valoarea curentului care parcurge bobina, iar sensul mișcării se schimbă o dată cu schimbarea sensului curentului care parcurge bobina.

Deoarece sensul curentului alternativ industrial se schimbă de 100 ori pe secundă (frecvența curentului este de 50 Hz), un aparat magnetoelectric nu va indica nimic cînd bobina sa mobilă va fi parcursă de un astfel de curent. [1])

În schimb, celelalte clase de aparate: electromagnetice, de inducție, electrodinamice, termice și în anumite condiții — și cele electrostatice, funcționează în curent alternativ, mișcarea părților lor mobile nefiind influențată de schimbarea periodică a sensului curentului.

b. În funcție de modul de utilizare, aparatele de măsurat pot fi:

1) fixe (aparate de tablou);

2) portabile (portative).

c. Se construiesc aparate de măsurat care măsoară cu o precizie mai mare sau mai mică; după gradul de precizie cu care pot măsura, aparatele aparțin unei anumite *clase de precizie* [2]).

În general, aparatele de măsurat folosite în mod obișnuit în exploatările industriale au o precizie mai mică decît aparatele folosite în laboratoare.

d. În funcție de modul în care se înscriu și se citesc indicațiile lor, aparatele electrice de măsurat pot fi de trei feluri:

1) *Aparate indicatoare*, care sînt înzestrate cu dispozitive de citire cu scări gradate și ace indicatoare (sau spoturi luminoase).

2) *Aparate totalizatoare (integratoare)*, care însumează valorile luate într-un anumit timp de mărimea care se măsoară iar rezultatul însumării se poate citi pe un cadran (de exemplu contorul).

3) *Aparate înregistratoare*, care înregistrează pe o diagramă vizibilă variația în timp a valorilor mărimii de măsurat.

---

[1]) Pe baza principiului de funcționare a aparatelor cu magnet permanent și bobină se construiesc și *oscilografele electromecanice*, care se folosesc și în curent alternativ (v. Capitolul VIII).

[2]) V. capitolul II.

B. Principii de construcţie

La orice aparat electric de măsurat se pot deosebi două părţi distincte:

1. Dispozitivul de măsurat
2. Elementele accesorii şi dispozitivele auxiliare, necesare pentru o mai bună adaptare la scopul urmărit. Din aceste dispozitive suplimentare fac parte carcasele, sistemele de compensare a erorilor, dispozitivele pentru schimbarea domeniilor de măsurare, dispozitivele amplificatoare etc.

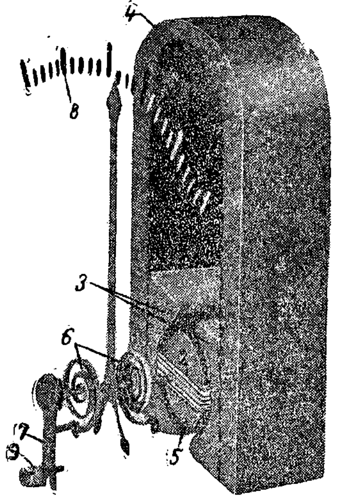


Fig. 9. Dispozitivul de măsurat al unui aparat magnetoelectric:

1 — axul mobil ; 2 — bobina ; 3 — piese polare ; 4 — magnet permanent ; 5 — miez de fier moale ; 6 — resorturi spirale; 7 — pîrghie de aducere la zero a acului ; 8 — scara gradată ; 9 — corector.

1. **Dispozitivul de măsurat** se compune din următoarele părţi principale:

a) O parte fixă numită stator

b) O parte mobilă numită echipaj mobil

c) Dispozitivul antagonist

d) Dispozitivul de citire a indicaţiilor (indicator, totalizator, înregistrator)

e) Dispozitivul de amortizare (de frînare)

a) *Statorul* unui aparat de măsurat poate fi:

— un magnet permanent, la aparatele magnetoelectrice (fig. 9);

— o bobină, la aparatele electromagnetice de atracţie (fig. 10,*A*);

— o piesă de fier magnetizată de o bobină, la aparatele electromagnetice de respingere (fig. 10,*B*);

— una sau mai multe bobine fără miez de fier, la aparatele electrodinamice (fig. 11) şi cu miez de fier la aparatele ferodinamice (fig. 4);

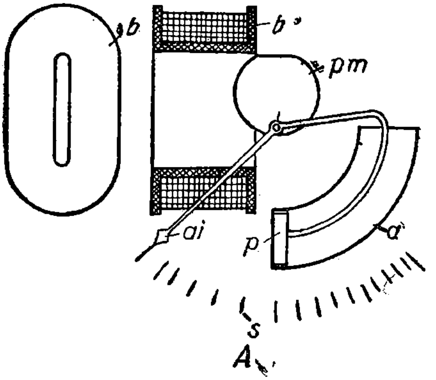
— un sistem de conductoare (fig. 12) sau de plăci bimetalice, în cazul aparatelor termice;

— un sistem de electromagneţi, la aparatele de inducţie (fig. 13);

— un sistem de plăci conductoare (armături de condensator), în cazul aparatelor electrostatice (fig. 14).

b) *Echipajul mobil* al unui aparat de măsurat poate fi:

o bobină mobilă, formînd în general un cadru mobil, la aparatele magnetoelectrice sau electrodinamice (fig. 9 și 11); la aparatele cu magnet permanent, pentru mărirea sensibilității se introduce în interiorul cadrului mobil un cilindru fix de fier moale (5, în fig. 9);



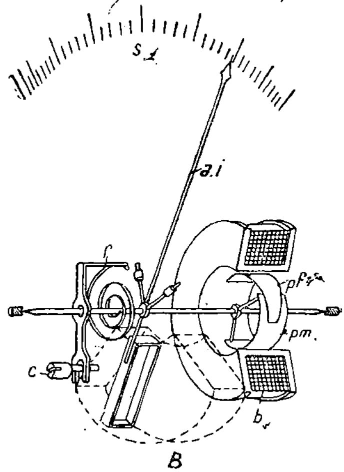


Fig. 10. Dispozitivul de măsurat al unor aparate electromagnetice:

A – de atracție ; B – de respingere ; b – bobină ; pm – piesă mobilă ; pf – piesă fixă ; ai – ac indicator ; s – scară gradată ; a – amortizor cu piston (paletă) ; p – piston (paletă) ; c – corector ; r – resort.

o bucată de fier moale, turtită și cît se poate de ușoară la aparatele electromagnetice (fig. 10, *A* și *B*);

pîrghii mobile la aparatele termice cu fir cald (fig. 12);

un cilindru sau un disc dintr-un material nemagnetic la aparatele de inducție (fig. 13);

plăci metalice la aparatele electrostatice (fig. 14).

În general, echipajele mobile se fixează pe axe care se rotesc în lagăre speciale, prevăzute cu pietre dure pentru reducerea frecărilor.

c) *Dispozitivul antagonist.* Echipajul mobil se rotește datorită acțiunii unui sistem de cupluri care apar în dispozitivul de măsurat, sub influența mărimii care se măsoară; rezultanta acestui sistem de cupluri se numește *cuplu activ.*

Dacă echipajul mobil s-ar afla numai sub influența acestui cuplu, la orice valoare a mărimii de măsurat echipajul s-ar roti încontinuu sau pînă ar fi împiedicat de o cauză oarecare (un dispozitiv de oprire, frecarea în piesele mecanismului). Pentru ca deplasarea rotorului să fie proporțională cu valoarea mărimii de măsurat, în aparatele de măsurat se introduc dispozitive, nu-

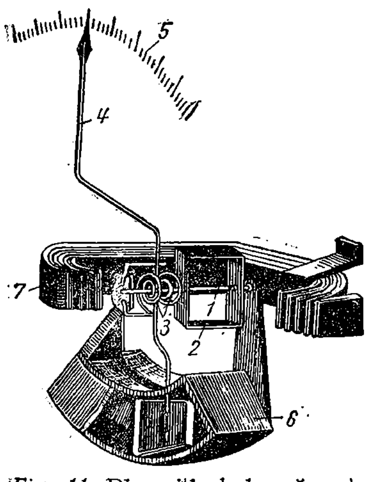


Fig. 11. Dispozitivul de măsurat al aparatelor electrodinamice:

1 — ax mobil ; 2 — bobină mobilă ; 3 — resoarte spirale ; 4 — ac indicator ; 5 — scară gradată ; 6 - amortizor cu paletă ; 7 — bobină fixă.

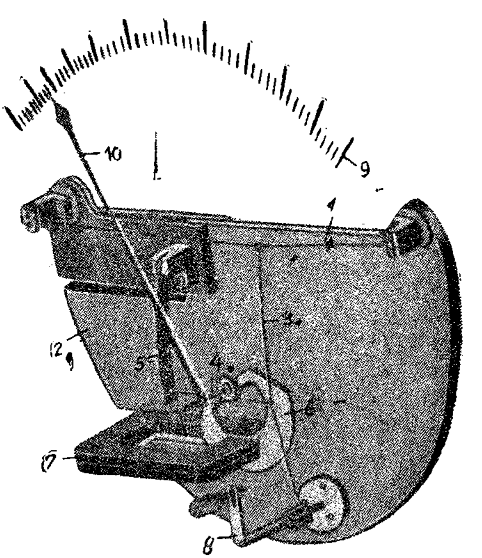


Fig. 12. Dispozitivul de măsurat al aparatelor termice cu fir cald :

1 — conductor de platin-iridiu ; 2 — placă de bază ; 3 — pîrghii ; 4 — axul de rotaţie al acului ; 5 — resort plan ; 6 — piesa mobilă a amortizorului ; 7 — magnet de amortizare ; 8 — corector ; 9 — scara gradată ; 10 — ac indicator.

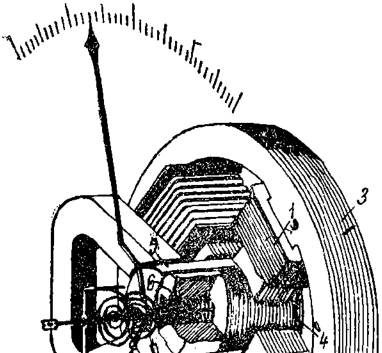


Fig. 13. Dispozitivul de măsurat al unui aparat de inducţie (wattmetru de inducţie) :

1 — bobina de tensiune ; 2 — bobina de curent ; 3 — miez de fier ; 4 — miez din tole ; 5 — cilindru de aluminiu ; 6 — miez de fier ; 7 — magnet de frînare.

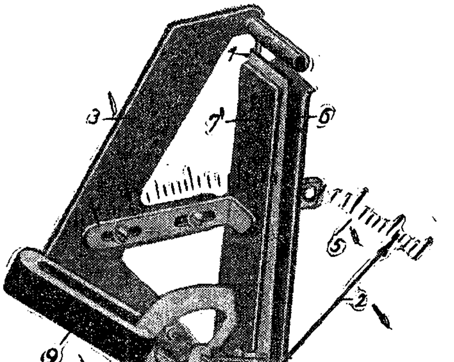


Fig. 14. Dispozitivul de măsurat al unui aparat electrostatic (voltmetru electrostatic) :

1 — armătură de aluminiu mobilă ; 2 — ac indicator ; 3 — placă de bază ; 4 — axul acului ; 5 — scară gradată ; 6 — armătură fixă ; 7 — placă fixă de protecţie ; 8 — piesa mobilă a amortizorului ; 9 — magnet de amortizare.

mite dispozitive antagoniste, care să dea naștere unui sistem de cupluri, a cărui rezultantă, numită *cuplu rezistent,* să se opună cuplului activ, datorit mărimii de măsurat.

Sub acțiunea acestor două sisteme de cupluri (activ și rezistent), echipajul mobil se va roti pînă în momentul în care ele își vor face echilibru, oprindu-se, astfel, într-o poziție corespunzătoare mărimii măsurate.

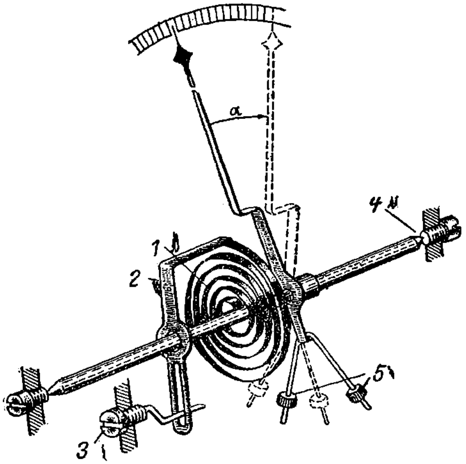


Fig. 15. Elemente ale echipajului mobil și dispozitivul antagonist al unui aparat indicator:
1 – arc spiral; 2 – antrenorul corectorului; 3 – corector; 4 – lagăr axial; 5 – greutăți de echilibrare.

Dispozitivul antagonist al echipajului mobil este alcătuit, de cele mai multe ori, dintr-unul sau din mai multe resoarte elastice (fig. 9, 10, 11, 12, 13, 15) fixate cu un capăt pe axul mobil, iar cu celălalt, fie de o piesă fixă a aparatului, fie de o piesă mobilă numită corector (fig. 9, 10, 13, 15) și care servește la corectarea poziției de zero a dispozitivului indicator al aparatului.

Resoartele, care formează dispozitivul antagonist, servesc și la aducerea echipajului mobil la zero după efectuarea măsurătorii și, uneori, la conducerea curentului către cadrul mobil (fig. 9).

Cuplul rezistent poate fi creat folosind principiul inducției, printr-un dispozitiv alcătuit dintr-un magnet permanent între polii căruia se rotește un disc sau un cilindru cuplat cu axul mobil al aparatului.

Există aparate al căror cuplu rezistent nu este creat pe cale mecanică ci electrică: dispozitivul antagonist al acestor aparate, denumite *logometre*, este o bobină încrucișată peste bobina mobilă — la logometrele magnetoelectrice și la cele electrodinamice — și un dispozitiv de măsurat, identic cu cel care produce cuplul activ și cuplat mecanic în opoziție cu acesta pe același ax — la aparatele electromagnetice și de inducție [1]).

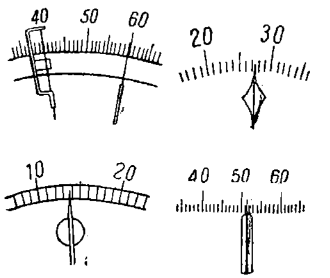


Fig. 16. Formele capetelor acelor indicatoare.

d) *Dispozitivul de citire a indicațiilor. Cadranul aparatelor de măsurat.* Dispozitivul de citire a indicațiilor la aparatele indicatoare este format din acul indicator și din scara gradată. Aparatele totalizatoare și cele înregistratoare sînt prevăzute cu dispozitive de citire speciale, care vor fi studiate în capitolele II și VII. Acul indicator (fig. 15) este solidar legat de echipajul mobil al aparatului de măsurat. El poate avea diferite forme după aparatul la care este întrebuințat; astfel, poate fi foarte subțire la aparatele de laborator sau gros la aparatele industriale de tablou. Unele dintre formele pe care le poate avea capătul unui ac indicator sînt reprezentate în fig. 16.

La unele aparate — în special la cele din laborator — acul indicator se înlocuiește cu o mică oglindă pe care sînt trimise raze de lumină de la o sursă aflată în interiorul sau în afara aparatului. Prin mișcarea echipajului mobil al aparatului se mișcă și oglinda, care trimite razele de lumină pe un ecran gradat (fig. 17) — la aparatele cu sursa luminoasă exterioară sau pe o scară gradată (fig. 24) — la aparatele cu sursă luminoasă interioară.

Scara gradată a unui aparat de măsurat pe care sînt înscrise valorile mărimii care se măsoară este trasată pe un cadran pe care se mai află o serie de date prin care se precizează caracteristicile aparatului: principiul de funcționare, felul curentului pentru care este construit, clasa de precizie, unitatea de măsură a mărimii care se măsoară, tensiunea la care a fost încercată izolația aparatului, cum și inscripția fabricii constructoare, numărul de fabricație, anul în care a fost fabricat, indicații asupra rezistenței sale interioare, a poziției de lucru a aparatului etc. Un exemplu de cadran cu scară gradată este dat în fig. 18.

---

[1]) V. cap. II. E.

Principiul de funcţionare este indicat pe cadran, prin înscrierea simbolului caracteristic al sistemului de funcţionare (tabela 1).

Mărimea care se măsoară este indicată prin simbolul unităţii de măsură: V (volţi), A (amperi), W (waţi), kW (kilo-

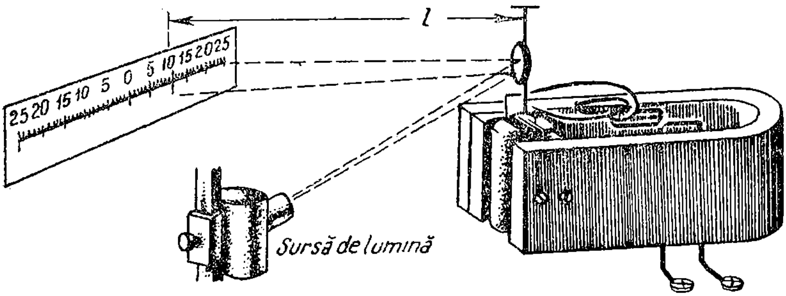


Fig. 17. Dispozitivul de citire cu oglindă şi ecran gradat al unui aparat sensibil cu magnet permanent (galvanometru).

waţi) etc., iar tensiunea la care a fost încercat aparatul printr-o steluţă colorată diferit (la aparatele mai vechi) sau printr-o ste-

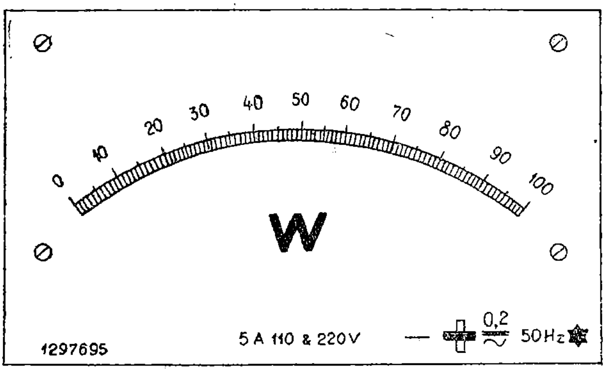


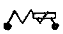
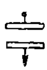
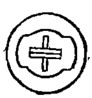
Fig. 18. Exemplu de cadran al unui aparat, cu scară gradată şi înscripţiile necesare.

luţă cu un număr interior (la aparatele mai noi). Relaţia dintre culoarea steluţei şi tensiunea de încercare este indicată în tabela 2.

Semnificaţiile celorlalte inscripţii care pot fi întîlnite pe cadranul unui aparat sînt indicate în tabela 3.

Tabela 1

Simbolurile aparatelor după principiul de funcționare

Simbol	Denumire	Simbol	Denumire
	Aparat magneto-electric		Aparat de rezonanță
	Aparat electro-magnetic		Aparat ferodinamic
	Aparat electro-dinamic		Logometru magneto-electric
	Aparat termic		Logometru electro-magnetic
	Aparat de inducție		Logometru electro-dinamic
	Aparat electrostatic		Logometru de inducție
	Aparat magneto-electric cu redresor		Logometru ferodinamic
	Aparat cu termo-cuplu		

În fig. 19 este reprezentată steluța care, prin numărul din interior, indică tensiunea de încercare, în kV. Dacă în interiorul steluței nu există nici un număr, înseamnă că tensiunea de încercare este de 500 V.

Una dintre cele mai importante indicații aflate pe cadranul unui aparat este cea

Tabela 2

Relația între culoarea steluței și tensiunea de încercare

Culoarea steluței	Tensiunea de încercare, în V
Neagră .	500
Cafenie .	1000
Roșie . . .	2000
Albastră . .	3000
Verde . .	5000



Fig. 19. Steluța indicatoare a unei tensiuni de încercare a izolației de 3 kV.

Tabela 3

Semnificațiile inscripțiilor de pe cadranele aparatelor

—	Aparat pentru curent continuu	↑	Folosire în poziție verticală
~	Aparat pentru curent alternativ	→	Folosire în poziție orizontală
≂	Aparat pentru c.c. și c. alt.	∠ 45°	Folosire înclinată la unghiul de 45°
≋	Aparat pentru curent trifazat, faze uniform încărcate	50 Hz	Frecvența 50 Hz
≋	Aparat pentru curent trifazat, faze neuniform încărcate	↯ 2 kV	Tensiunea de încercare 2 kV

referitoare la clasa de precizie. *Clasa de precizie* se indică printr-un număr zecimal sau întreg (de exemplu 0,1 ; 0,2 ; 1 ; 3 ; 5).

Un aparat de măsurat trebuie să nu dea indicații cu o eroare[1]) mai mare decît cea stabilită pentru clasa de precizie indicată pe cadranul său ; astfel, un aparat care are notat pe cadran cifra 1 face parte din clasa de precizie 1 ; el trebuie să nu dea o eroare de măsurare mai mare decît 1% din deviația maximă a acului său indicator (adică în cazul unui ampermetru de 100 A să indice cu o eroare de cel mult ±1 A).

În exploatările industriale și în laboratoare se folosesc aparate avînd clasele de precizie : 0,2 ; 0,5 ; 1 ; 3 ; 5.

e) *Dispozitivul de amortizare (frînare).* Pentru ca acul indicator să se așeze rapid pe poziția corespunzătoare valorii mărimii măsurate, fără să mai oscileze în jurul acestei valori, respectiv pentru ca durata acestor oscilații să fie cît mai mică posibil, se utilizează dispozitive de amortizare solidar legate de echipajul mobil al aparatului de măsurat. Aceste amortizoare pot fi de două tipuri :

— amortizoare cu aer, alcătuite dintr-un tub, de o formă oarecare, în care se mișcă un piston sau o paletă ; prin comprimarea aerului și prin rezistența pe care o opune aerul mișcării paletei, mișcările oscilatorii ale echipajului mobil sînt amortizate (fig. 10, 11) ;

— amortizoare magnetice, alcătuite dintr-un disc (sau numai dintr-un sector de disc) construit dintr-un material nemagnetic și fixat pe axul echipajului mobil și care se mișcă între polii unui magnet permanent. Datorită acțiunii dintre curenții turbionari ce iau naștere în disc și fluxul magnetului permanent, se produce un cuplu al cărui sens este opus sensului de mișcare a discului. Se obține astfel o amortizare a mișcărilor oscilante (fig. 12).

2. **Elementele accesorii** sînt acele părți din aparat care servesc la apărarea dispozitivului de măsurat împotriva acțiunilor exterioare, la fixarea și consolidarea dispozitivului de măsurat, la legarea aparatului în circuitul electric în care se efectuează măsurarea etc.

Dintre acestea un rol important îl are cutia aparatului în care este adăpostit dispozitivul de măsurat atît împotriva acțiunilor mecanice exterioare cît și împotriva acțiunilor prafului, umezelii, influenței temperaturilor exterioare etc.

---

[1]) Este vorba de eroarea relativă raportată la valoarea nominală (limita scării) a mărimii de măsurat. (vezi cap. IV).

Cutia se construiește din lemn, din metal, din materiale plastice și are diferite forme (cilindrică, paralelipipedică) și dimensiuni în funcție de modul în care va fi utilizat aparatul.

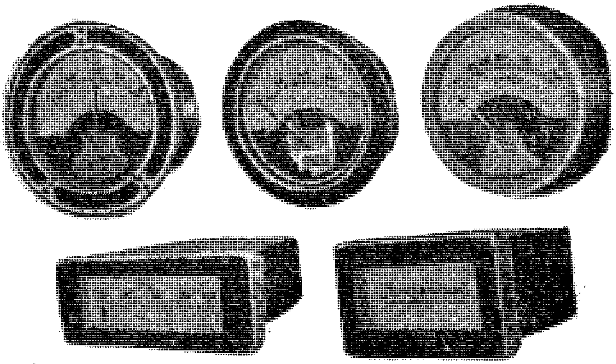


Fig. 20. Aspectul exterior al unor aparate de tablou.

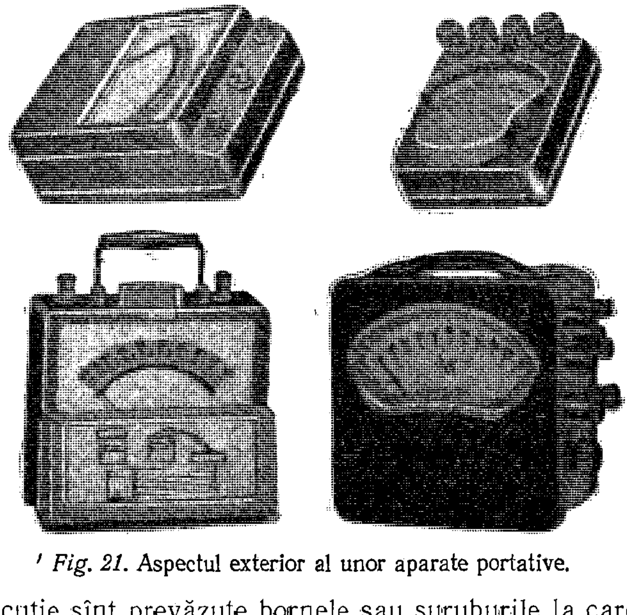


Fig. 21. Aspectul exterior al unor aparate portative.

Pe cutie sînt prevăzute bornele sau șuruburile la care se fac legăturile aparatului, iar pentru aparatele de tablou — șuruburile sau găurile de prindere; aparatele portative sînt prevăzute cu o curea de transport și cu piciorușe de cauciuc.

În fig. 20 sînt arătate cîteva tipuri de aparate de tablou, iar în fig. 21, de aparate portative.

CAPITOLUL II

DESCRIEREA APARATELOR ELECTRICE DE MĂSURAT UZUALE ŞI A DISPOZITIVELOR AUXILIARE FOLOSITE PENTRU MĂSURAREA CURENŢILOR MARI ŞI A TENSIUNILOR ÎNALTE

A. Ampermetrul

1. Caracteristici generale. Ampermetrul este un aparat de măsurat cu ajutorul căruia se măsoară intensitatea unui curent electric care trece printr-un circuit ; el se leagă *în serie* în acest circuit (fig. 22).

Ampermetrul fiind legat în serie în circuitul electric al cărui curent se măsoară, nu trebuie să opună o rezistență prea mare trecerii curentului electric. De aceea, bobinajele interioare ale ampermetrului sînt executate din conductoare de cupru, pe cît posibil cu secțiunea mare și cu lungimea mică.

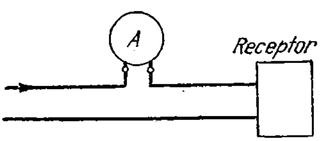


Fig. 22. Schema de legare în circuit a ampermetrului (*A*) pentru măsurarea curentului absorbit de un receptor.

Rezistența electrică a bobinajelor unui ampermetru este foarte mică, ea putînd ajunge pînă la valori de miimi de ohm. Ampermetrele se construiesc pentru a măsura curenți cuprinși într-un anumit domeniu ; de exemplu între 0 și 5 A ; 0 și 10 A, 0 și 100 A. Curentul maxim pe care îl poate măsura *direct* ampermetrul și care este indicat pe scara sa gradată este denumit *curentul nominal* al aparatului ; ampermetrul nu trebuie legat în circuite în care circulă curenți mai mari decît *curentul său nominal.*

Căderea de tensiune într-un ampermetru este produsul dintre rezistența electrică a bobinajelor aparatului R_a și valoarea curentului care le parcurge :

$$\Delta U = R_a I$$

în care ΔU se măsoară în volți (V), R_a măsurîndu-se în ohmi (Ω) și I în amperi (A).

Căderea de tensiune care are loc la trecerea prin aparat a curentului său nominal se numește cădere de tensiune nominală.

Numim consumația unui ampermetru, energia electrică consumată de aparat în timpul în care el este conectat în circuit și care este egală cu produsul dintre rezistența electrică a aparatului, patratul intensității curentului care îl parcurge și timpul cît aparatul se află în circuit :

$$W_a = R_a I^2 t,$$

în care W_a este exprimat în wattsecunde, R_a — în ohmi, I — în amperi și t — în secunde (s).

Puterea (energia în unitatea de timp) pe care o absoarbe aparatul este :

$$P_a = R_a I^2,$$

P_a fiind exprimat în wați, R_a — în ohmi, iar I — în amperi.

Puterea nominală absorbită de bobinajele unui ampermetru este cea corespunzătoare curentului nominal.

Pentru a putea aprecia cam ce valori au aceste mărimi pentru un ampermetru obișnuit, să luăm un exemplu :

Fie un ampermetru al cărui curent maxim indicat pe scară (curentul nominal) este de 10 A, iar rezistența bobinajului său este de 0,008 Ω.

Căderea de tensiune în aparat are valoarea :

$$\Delta U = 0{,}008 \cdot 10 = 0{,}08 \text{ V},$$

iar puterea nominală consumată este :

$$P_n = 0{,}008 \cdot 10^2 = 0{,}8 \text{ W}.$$

Pentru aparatele de precizie aceste valori pot fi și mai mici. În general, consumația ampermetrelor variază între 0,2 și 10 W.

Consumul propriu al diverselor tipuri de ampermetre este dat în tabela 4.

Dacă, din greșeală, se leagă un ampermetru în paralel (în derivație) la bornele circuitului electric al cărui curent se măsoară, iar nu în serie cu acest circuit, bobinajul interior al ampermetrului se va încălzi peste măsură și se va deteriora.

În adevăr, dacă presupunem că tensiunea de alimentare a circuitului de curent continuu în care se face măsurarea este de 120 V, iar rezistența aparatului de 0,008 Ω, valoarea curentului este dată de relația

$$I=\frac{U}{R_a},$$

care, prin înlocuire, devine :

$$I=\frac{120}{0{,}008}=15\,000\ \text{A}.$$

Este clar că, în acest caz, ampermetrul cu curentul nominal de 10 A se deteriorează imediat.

Regulă : *Ampermetrul se leagă întotdeauna în serie cu circuitul electric al cărui curent îl măsoară ; el nu trebuie să fie niciodată legat în paralel la bornele acestui circuit, deoarece — în acest caz — ampermetrul este în pericol de a se deteriora.*

2. **Funcționarea și construcția ampermetrelor.** În funcție de principiul de funcționare pe care se bazează construcția dispozitivului lor de măsurare, ampermetrele pot fi :

a) *Ampermetre magnetoelectrice.* Ampermetrul magnetoelectric funcționează dacă bobina sa este parcursă de un curent continuu. În acest caz, echipajul mobil se va roti într-un anumit sens, iar mișcarea acului indicator va fi proporțională cu valoarea acestui curent. Ecuația de funcționare a unui asemenea aparat, — ecuație care dă legătura dintre unghiul α cu care se rotește acul indicator și curentul I care trece prin bobina mobilă — este :

$$\alpha=kI,$$

în care k este o constantă, numită constanta proprie a aparatului.

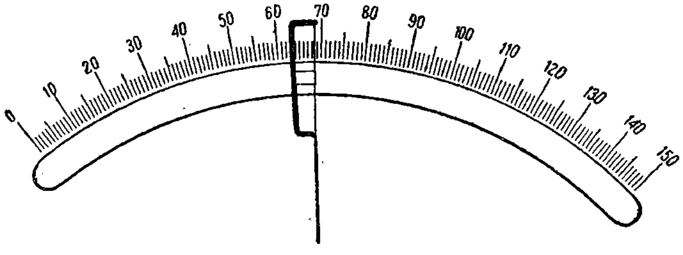


Fig. 23. Scara unui aparat magnetoelectric.

Din ecuația de funcționare, care arată că deviația acului este direct proporțională cu valoarea curentului, rezultă că scara unui ampermetru magnetoelectric este uniformă, adică distanțele dintre diviziuni sînt egale (fig. 23).

Ampermetrele magnetoelectrice, ca toate celelalte aparate din sistemul magnetoelectric, nu pot fi utilizate decît în curent continuu, deoarece sensul de rotație al acului depinde de sensul curentului.

Ampermetrele din sistemul magnetoelectric prezintă avantajul unui consum de putere mic (care obișnuit este de 0,2—0,4 W, putînd ajunge pînă la miimi de watt), al unei precizii mari (se construiesc ampermetre de clasa 0,1) și al unei scări uniforme.

În această categorie a ampermetrelor magnetoelectrice mai poate fi cuprinsă o clasă de aparate de mare sensibilitate — construite pe același principiu — care, în general, fără a da direct valoarea unui curent, indică numai prezența lui în circuit. Aceste aparate se numesc *galvanometre*. S-a reușit să se construiască astfel de aparate sensibile la curenți extrem de mici, ajungînd pînă la $1\ pA = 10^{-12}\ A$.

De asemenea, tot în această categorie pot fi incluse și *oscilografele electromecanice* [1]).

Pentru obținerea unei sensibilități atît de mari, aceste aparate sînt prevăzute cu magneți permanenți foarte puternici, iar frecările și cuplurile antagoniste sînt reduse la valorile cele mai mici posibile, prin suprimarea din echipajul mobil a axului și a resoartelor și înlocuirea lor printr-un fir elastic (confecționat din argint sau bronz), numit fir de torsiune. Cu ajutorul acestui fir, cadrul mobil (*4* din fig. 24) al acestui aparat este suspendat între polii unui magnet permanent (care nu apare în fig. 24) firul de torsiune servind și drept cale pentru aducerea curentului electric în spirele cadrului mobil. Dispozitivul indicator este format dintr-o mică oglindă (*2* fig. 24), lipită pe firul de torsiune și care reflectă o rază de lumină, trimițînd-o pe o riglă (ecran) — fig. 17 — sau pe un cadran (fig. 24) prevăzute cu diviziuni, însă negradate în amperi.

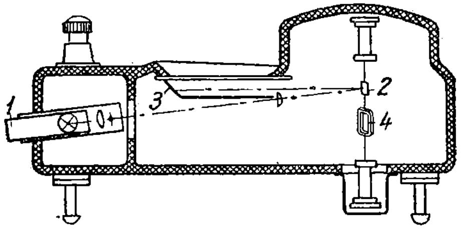


Fig. 24. Secțiune într-un galvanometru cu spot luminos, cu scară gradată interioară:
1 — sursă de lumină; 2 — oglinda de pe firul de torsiune; 3 — spotul pe scara aparatului; 4 — bobina (cadrul) mobilă.

În fig. 25 este dat aspectul unui astfel de galvanometru.

Galvanometrele se întrebuințează, în general, în montaje speciale pentru măsurarea indirectă a unor mărimi electrice [2]).

---

[1]) V. cap. VIII.
[2]) V. cap. IX

b) *Ampermetrele electrodinamice* funcționează datorită acțiunii dintre curenții care parcurg două bobine (una fixă și alta mobilă). Bobina mobilă se leagă în serie cu cea fixă la ampermetrele folosite pentru măsurarea unor curenți foarte mici — miliampermetrele — sau în derivație pe bobina fixă și pe o re-

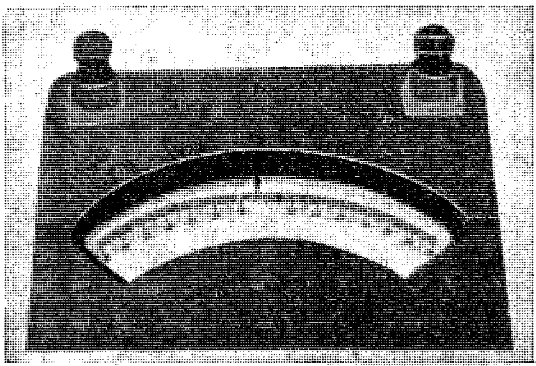


Fig. 25. Aspectul exterior al unui galvanometru cu spot luminos și scară gradată.

zistență (numită șunt) care este în serie cu bobina fixă — la ampermetrele obișnuite (fig. 26). Acest fel de legare este necesar, deoarece bobina mobilă este construită dintr-un conductor mult mai subțire decît bobina fixă, care, la trecerea curentului de măsurat s-ar încălzi peste limita admisibilă și astfel s-ar deteriora.

Unghiul de rotație α al acului unui ampermetru electrodinamic este proporțional cu valorile curenților I_1 și I_2 care trec prin cele două bobine; ecuația de funcționare a acestui aparat are expresia generală

$$\alpha = k_1 I_1 k_2 I_2.$$

Dacă bobinele sînt legate în serie: $I_1 = I_2 = I$ (curentul din circuit) și punînd $k_1 k_2 = k$, rezultă

$$\alpha = kI^2.$$

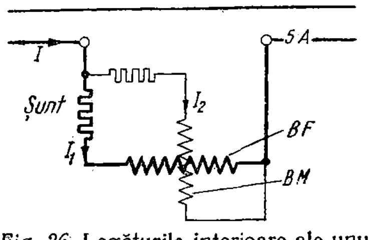


Fig. 26. Legăturile interioare ale unui ampermetru electrodinamic obișnuit.

În cazul cînd bobina mobilă este în derivație cu cea fixă, curenții din ele sînt proporționali cu curentul I din circuitul de măsurat

$$I_1 = k_1 I \quad \text{și} \quad I_2 = k_2 c I,$$

astfel încît ecuația de funcționare a aparatului capătă forma

$$\alpha = k_1 I k_2 c I = K I^2$$

în care

$$K = k_1 k_2 c.$$

Coeficienții k și K sînt denumiți constante de funcționare ale aparatului și pot fi considerați practic constanți [1]. În realitate ei depind atît de poziția acului indicator cît și de formele celor două bobine.

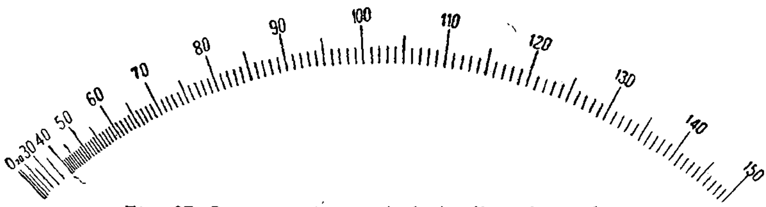


Fig. 27. Scara unui aparat electrodinamic modern.

Din ecuația de funcționare rezultă că — deoarece deviația este proporțională cu I^2 — scara unui ampermetru electrodinamic nu este uniformă, ci pătratică, cu diviziuni extinse spre sfîrșitul scării. La ampermetrele electrodinamice moderne s-a reușit ca prin acționarea asupra „constantei“ de funcționare a aparatului să se realizeze o scară aproape uniformă pe toată lungimea, cu excepția porțiunii inițiale (fig. 27) [2].

Ampermetrele electrodinamice sînt folosite atît în curent continuu, cît și în curent alternativ, deoarece sensul în care se rotește acul indicator nu se schimbă la schimbarea sensului curenților din bobine.

În curent alternativ, indicațiile aparatului sînt proporționale cu valorile efective ale curentului.

c) *Ampermetrele electromagnetice* funcționează prin atracția pe care o exercită o bobină fixă, parcursă de curentul care se măsoară, asupra unei bucăți de fier moale (fig. 10,*A*) sau datorită acțiunii de respingere a unei piese de fier fixă, magnetizată cu ajutorul unei bobine parcurse de curentul care se măsoară,

---

[1] V. cap. III B

[2] Modificarea gradației scării se obține acționînd asupra formei bobinelor, asupra elementului antagonist (resortul), prin introducerea în serie cu circuitul de măsură de elemente neliniare (de exemplu o lampă cu filament metalic, la care rezistența crește cu creșterea curentului ce o străbate, sau o lampă cu filament de cărbune la care variația rezistenței este inversă precedentei).

asupra unei piese-mobile (fig. 10, *B*). Forța de atracție — în aparatele electromagnetice de atracție — sau de respingere — în ampermetrele electromagnetice de respingere — este proporțională cu pătratul valorii curentului care trece prin bobină și depinde de poziția armăturii mobile în cîmpul magnetic al bobinei. Ecuația de funcționare a acestui aparat este :

$$\alpha = k\, I^2 \cdot f(\alpha),$$

în care k este o constantă ;
$f(\alpha)$ — o mărime a cărei valoare depinde de unghiul de deviație al acului, deci de poziția echipajului mobil ;
I — curentul care parcurge bobina.

Ampermetrele electromagnetice pot fi folosite atît în curent continuu, cît și în curent alternativ, deoarece sensul forței respective nu este influențat de variația alternativă a sensului curentului.

Ampermetrele electromagnetice se construiesc, în general, pentru curenți între 0 și 5 ; 0 și 10 A (uneori se atinge și 200 A — la aparatele de tablou), și pentru clasele de precizie 0,5—2,5. Ele sînt aparate robuste, din care cauză au o mare răspîndire folosindu-se în special ca aparate de tablou.

d) *Ampermetrele termice* funcționează prin dilatarea unui conductor subțire, parcurs de curentul electric care trebuie măsurat (fig. 12) sau prin deformarea unui bimetal încălzit de curentul de măsurat. Acest din urmă sistem este mai rar utilizat în construirea aparatelor de măsurat.

Deoarece căldura produsă în conductor este proporțională cu pătratul curentului, iar dilatarea firului este proporțională cu încălzirea corespunzătoare, ecuația de funcționare a acestui aparat este :

$$\alpha = kI^2,$$

în care k este constanta aparatului. Acest aparat are, deci, aceleași proprietăți ca un aparat electrodinamic ; el va putea fi folosit atît în curent continuu, cît și în curent alternativ.

e) *Ampermetrele funcționînd pe principiul de inducție* nu mai sînt folosite, astăzi, în mod curent, nici în laboratoare nici în industrie, din cauză că puterea pe care o consumă este foarte mare în raport cu puterile consumate de alte ampermetre și întrucît sînt mult influențate de variația frecvenței curentului alternativ. Ecuația de funcționare a unui asemenea aparat este :

$$\alpha = k\omega I^2,$$

în care ω este pulsația ($2\pi\times$frecvența) curentului care se măsoară.

Din această ecuație rezultă că, întrucît mișcarea depinde de frecvență, aceste aparate nu pot fi folosite în curent continuu, pentru care $f=0$, adică $\omega=0$.

f) *Ampermetre electrostatice* nu se construiesc.

3. **Șunturi.** Mișcarea echipajului mobil al unui ampermetru din oricare sistem este provocată de însuși curentul care se măsoară. Pentru aceasta, este necesar ca bobina (sau bobinele) prin care trece curentul să fie confecționată din sîrmă destul de groasă, pentru a nu produce o cădere de tensiune prea mare și pentru ca acestea să nu se încălzească peste limita admisă. Există bobine de ampermetre cu ajutorul cărora se pot măsura *direct* curenți avînd valori de cîteva sute de amperi. Un asemenea aparat nu poate fi construit, însă, decît pentru tablourile de uzine, unde nu i se cere o exactitate prea mare. Sînt cazuri cînd trebuie măsurați curenți mari, chiar de mii de amperi. *Pentru a se putea efectua aceste măsurări cu ampermetre obișnuite au fost create accesorii speciale, numite șunturi.*

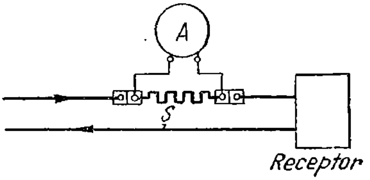


Fig. 28. Schema de legare într-un circuit a unui ampermetru (*A*) prin intermediul unui șunt (*Ș*).

Șunturile sînt rezistențe electrice foarte mici, care se conectează în serie în circuitul de măsurat în locul ampermetrului, acesta din urmă legîndu-se în paralel cu șuntul (fig. 28). În modul acesta, numai o parte din curentul total va trece prin ampermetru. În adevăr se știe că, în cazul a două rezistențe $R_ș$ și R legate în paralel, curenții care le străbat sînt invers proporționali cu rezistențele: prin rezistența mai mică circulă curentul mai mare, iar prin rezistența mai mare — curentul mai mic. Dacă (fig. 29) $R_ș$ este rezistența electrică a șuntului, $I_ș$ — curentul care trece prin șunt, R_a — rezistența înfășurării ampermetrului, I_a — curentul care trece prin ampermetru și $I_{măs}$ — curentul de măsurat:

$$I_a = \frac{R_ș}{R_ș + R_a} I_{măs}.$$

Se vede, deci, că — prin alegerea rezistenței șuntului — curentul care trece prin ampermetru poate fi micșorat oricît de

mult. Pentru a vedea cît de mică trebuie să fie rezistența șuntului față de cea a ampermetrului, să luăm un exemplu. Fie :

$$I_{măs} = 1000 \text{ A};$$

$$I_{a\,nom} = 10 \text{ A}.$$

I_{anom} este curentul nominal al ampermetrului.

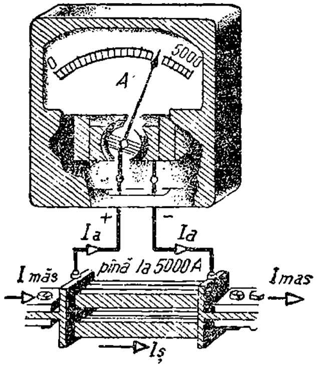


Fig. 29. Ampermetru de 5000 A cu șunt exterior :
I_a = curentul din ampermetru ; $I_ș$ = curentul din șunt ; $I_{măs}$ = curentul din circuitul de măsurare.

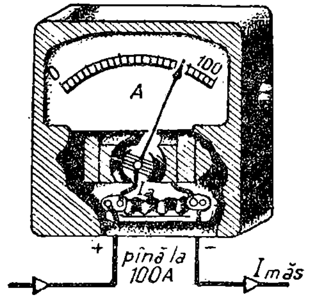


Fig. 30. Ampermetru de 100 A cu șunt interior.

Introducînd în relația de mai sus, obținem :

$$10 = \frac{R_ș}{R_ș + R_a} \times 1000,$$

de unde :

$$R_ș = \frac{R_a}{99},$$

adică rezistența electrică a șuntului trebuie să fie de 99 ori mai mică decît cea a ampermetrului.

În general, dacă curentul care se măsoară este de m ori mai mare decît curentul nominal al ampermetrului, un calcul analog cu precedentul duce la următoarea relație, *care ne dă valoarea rezistenței șuntului în funcție de rezistența ampermetrului :*

$$R_ș = \frac{R_a}{m-1}.$$

Dacă trebuie măsurați curenți mai mari decît cel nominal, fiecare aparat se prevede cu un anumit șunt, care se calculează

așa cum s-a arătat mai sus; ampermetrul se etalonează împreună cu șuntul său și cu conductoarele de legătură dintre aparat și șunt. Aparatul poate avea șuntul integrat în interiorul carcasei — pentru curenți pînă la 100 A — (fig. 30) sau în exteriorul carcasei — pentru curenți pînă la 5000 A sau mai mult (fig. 29). Pentru aparatele de precizie sau de laborator se construiesc unul sau mai multe șunturi.

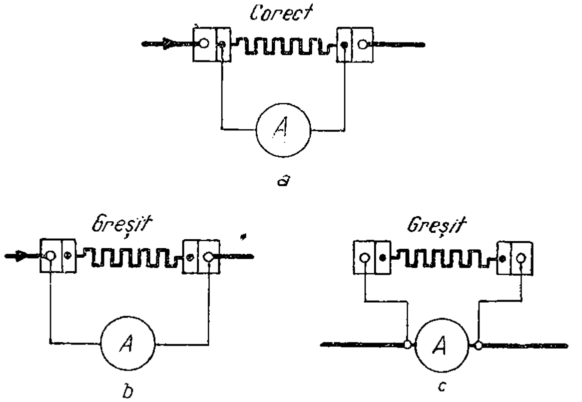


Fig. 31. Legarea corectă a ampermetrului la șunt (*a*) și legarea greșită (*b* și *c*).

Un șunt are forma unei bare de o anumită lungime confecționată dintr-un aliaj special; pe bară sînt două rînduri de borne — unele pentru legarea șuntului în circuit, iar celelalte pentru legarea ampermetrului la șunt. Dacă șuntul nu este integrat în ampermetru trebuie să se procedeze cu atenție la efectuarea acestor legături, căci altfel se obțin rezultate greșite în măsurări. În fig. 31, *a* este reprezentată legarea corectă, iar în fig. 31, *b* și *c* legarea greșită a unui aparat la un șunt. Șunturile se utilizează, de obicei, pentru măsurări în curent continuu, deoarece pentru măsurarea curenților alternativi au fost construite aparate speciale, numite transformatoare de curent. Aceste aparate vor fi tratate în continuare, tot în cap. II.

4. **Ampermetre cu mai multe sensibilități, fără șunturi.** Unele aparate de laborator, în special cele din categoria aparatelor electrodinamice, se construiesc cu mai multe trepte de sensibilitate. Astfel, cu un același aparat pot fi măsurate, de exemplu,

două trepte de curenți : 0—5 A și 0—10 A. În acest scop, bobina fixă se împarte în două părți egale (*A* și *B* din fig. 32). Astfel, dacă se introduce o fișă în gaura *2*, cele două bobine sînt legate în serie și se pot face măsurări în domeniul 0—5 A, fiind suficient un curent egal cu 5 A pentru a produce deviația maximă a acului aparatului. Dacă se introduc fișe în ambele găuri *1* și *3*, curentul necesar producerii deviației maxime este de 10 A și astfel se obține a doua sensibilitate a aparatului.

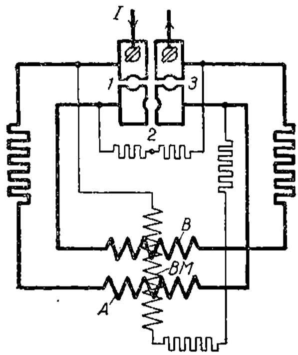


Fig. 32. Realizarea a două sensibilități la un aparat electrodinamic :

A – o jumătate a bobinei fixe ; *B* – cealaltă jumătate a bobinei fixe ; *BM* – bobina mobilă (Celelalte rezistențe sînt pentru compensarea erorilor de temperatură).

B. Voltmetrul

1. **Generalități.** Voltmetrul este un aparat de măsurat cu ajutorul căruia se măsoară tensiunea sau diferența de potențial la bornele unei surse sau ale unui receptor de energie electrică. Pentru a măsura tensiunea într-un circuit electric voltmetrul (V) trebuie să se lege în paralel (în derivație) cu acest circuit (fig. 33, *a*).

Voltmetrul fiind legat în paralel cu rețeaua electrică a cărei tensiune o măsoară, trebuie să opună o rezistență cît mai mare curgerii curentului electric ce trece prin înfășurarea sa. De aceea, bobinajele interioare ale voltmetrului, spre deosebire de cele ale ampermetrului, sînt confecționate din conductoare subțiri și cu rezistență electrică cît mai mare posibil.

Rezistența electrică a unui voltmetru este foarte mare, ea putînd ajunge la cîteva zeci sau sute de mii de ohmi. Pentru confecționarea unei bobine cu rezistență atît de mare, este necesară o cantitate foarte mare de sîrmă. Ar rezulta o bobină foarte grea, ceea ce nu se poate admite decît în cazul bobinelor fixe ale aparatelor. De aceea și pentru voltmetre se construiesc bobine mobile ușoare, avînd atîtea spire cîte sînt necesare pentru a putea funcționa. Restul de rezistență electrică necesară voltmetrului se realizează legîndu-se în serie cu bobina (sau cu bobinele) voltmetrului, rezistențe speciale (fig. 33, *b*). În modul acesta, același voltmetru poate fi folosit pentru măsurări de tensiuni diferite, prin modificarea valorii rezistenței legate în serie.

Puterea P_v, pe care o consumă un voltmetru, trebuie să fie cît mai mică posibil. Ea este dată de relația :

$$P_v = \frac{U^2}{R_v},$$

în care P_v este exprimat în W, U — în V și R_v — în Ω.

Pentru a ne da seama de valoarea puterii consumate de un voltmetru, să luăm un exemplu. Fie un voltmetru construit pentru tensiunea nominală de 120 V. Rezistența lui interioară este de 15 000 Ω ; puterea nominală consumată de aparat este, deci :

$$P_v = \frac{U_n^2}{R_v} = \frac{120^2}{15\,000} = 0{,}95 \text{ W}.$$

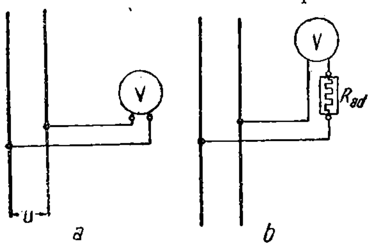


Fig. 33. Schema de legare în circuit a unui voltmetru :

a – direct ; *b* – prin rezistență adițională.

Consumul propriu al diverselor tipuri de voltmetre este dat în tabela 4.

2. **Funcționarea și construcția voltmetrelor.** Prin aplicarea unei tensiuni U la bornele unei rezistențe R_v, prin acea rezistență va trece un curent I, dat de relația :

$$I = \frac{U}{R_v}$$

în care I este exprimat în amperi, dacă U este exprimat în volți și R_v — în ohmi.

Dacă presupunem că R_v este rezistența electrică a bobinajului voltmetrului cu ajutorul căruia urmează să se măsoare tensiunea U, prin acest bobinaj va circula un curent avînd valoarea I, dată de relația de mai sus. Acest curent care trece prin bobinajul voltmetrului și este direct proporțional cu tensiunea care se măsoară provoacă deplasarea echipajului mobil. Deci funcționarea voltmetrelor este asemănătoare cu cea a ampermetrelor.

În curent alternativ, voltmetrele măsoară valoarea efectivă a tensiunii.

Ca și în cazul ampermetrelor, dispozitivele de măsurat ale voltmetrelor se construiesc folosind oricare din principiile de funcționare descrise mai înainte.

a) Voltmetrele magnetoelectrice pot fi folosite numai în curent continuu.

b) Voltmetrele electrodinamice, electromagnetice și termice pot fi folosite atît în curent continuu, cît și în curent alternativ.

c) Voltmetrele de inducție pot fi folosite numai în curent alternativ.

d) Voltmetrele electrostatice funcționează pe principiul atracției reciproce a armăturilor unui condensator plan (*1* și *2* din fig. 34, *a* și *b*).

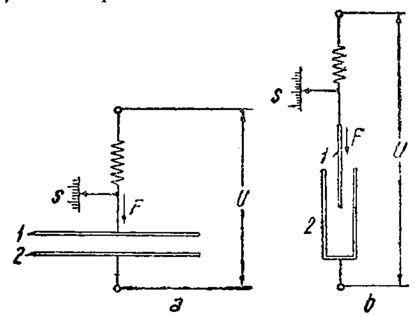


Fig. 34. Principii de funcționare a unui voltmetru electrostatic:

a – prin variația distanței între armături ; b – prin variația suprafeței active a armăturilor ; 1 – armătură mobilă ; 2 – armătură fixă ; S – scara ; U – tensiunea aplicată.

Forța de atracție F dintre armături fiind proporțională cu pătratul tensiunii U aplicate aparatului, rezultă că ecuația de funcționare a acestui aparat este :

$$\alpha = kU^2,$$

în care k este o constantă. Aparatul poate fi deci folosit atît în curent continuu, cît și în curent alternativ.

Un voltmetru electrostatic prezintă marele avantaj că nu are o consumație proprie, valoarea acesteia fiind nulă în curent continuu și practic nulă în curent alternativ. Un aparat electrostatic are diviziunile cadranului inegal depărtate între ele (scară neuniformă).

Voltmetrele electrostatice sînt de numeroase tipuri și se construiesc, în general, pentru tensiuni înalte (de la 1000 V în sus). În ultimul timp s-a reușit să se construiască asemenea aparate și pentru tensiuni mai joase, pînă la 100 V.

3. **Rezistențe adiționale.** Pentru a putea măsura — cu voltmetre obișnuite — tensiuni continue înalte se folosesc rezistențe, numite rezistențe adiționale, care se leagă în serie cu voltmetrul (fig. 35). În curent alternativ se folosesc rezistențe adiționale numai pînă la tensiuni de 600 V, pentru tensiuni alternative mai mari folosindu-se aparate speciale, numite transformatoare de tensiune, care prezintă multe avantaje față de rezistențele adiționale. Aceste aparate vor fi tratate în continuare, în cap. II.

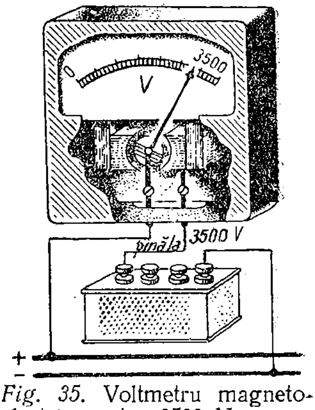


Fig. 35. Voltmetru magnetoelectric pentru 3500 V, cu rezistență adițională exterioară.

Valoarea unei rezistențe adiționale poate fi determinată fără nici o dificultate. Fie un voltmetru cu rezistența interioară R (în Ω) și cu tensiunea nominală U (în V). Curentul maxim care trece prin bobinajul voltmetrului, la deviația maximă a acului voltmetrului — corespunzătoare tensiunii nominale — este :

$$i=\frac{U}{R_v},\ \text{în A.}$$

Să determinăm care este rezistența adițională necesară pentru a măsura o tensiune de m ori mai mare. În ambele cazuri, acul indicator al aparatului trebuie să se afle pe diviziunea corespunzătoare tensiunii nominale. Deci curentul i care parcurge bobinajul trebuie să rămînă același :

$$i=\frac{U}{R_v}=\frac{mU}{R_v+R_{ad}},$$

R_{ad} fiind rezistența adițională căutată.

Un calcul simplu ne dă :

$$R_{ad}=(m-1)R_v.$$

Rezistențele adiționale pot fi și integrate în carcasa voltmetrului.

C. Wattmetrul

Wattmetrul este un aparat de măsurat cu ajutorul căruia se măsoară puterea debitată de o sursă de energie electrică sau cea absorbită de un receptor de energie electrică.

În curent continuu puterea electrică se exprimă prin relația :

$$P=UI$$

în care P este exprimat în wați, cînd U este exprimat în volți și I — în amperi.

Rezultă, deci, că pentru a putea măsura direct puterea electrică, trebuie să măsurăm cu același aparat produsul dintre tensiunea de la bornele circuitului și valoarea curentului care trece prin acest circuit. Pentru aceasta este, deci, necesar ca aparatul de măsurat să aibă două bobinaje : unul — pentru circuitul de tensiune și unul — pentru circuitul de curent. Aparatele care pot îndeplini această condiție sînt aparatele electrodinamice și cele de inducție.

Dintre acestea, cel mai răspîndit este wattmetrul electrodinamic, întrucît aparatele de inducție au o consumație foarte mare,

iar indicațiile lor sînt influențate de variația frecvenței. De aceea, cele ce urmează se referă la wattmetrele electrodinamice.

Wattmetrul are, deci, o bobină de tensiune și o bobină de curent; aceste două bobine se leagă la rețea, potrivit regulilor cunoscute pentru voltmetre și ampermetre: bobina de tensiune (derivație) în paralel cu circuitul de măsurat, iar bobina de curent (serie) — în serie cu circuitul (fig. 36).

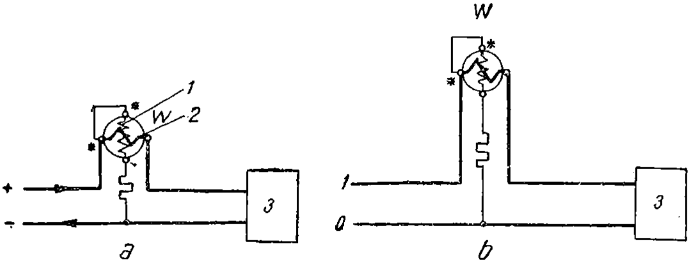


Fig. 36. Schema de legare în circuit a unui wattmetru electrodinamic:
a — în curent continuu ; *b* — în curent alternativ.
1 — bobină de tensiune ; *2* — bobină de curent ; *3* — receptor.

În circuitul bobinei de tensiune se află conectată o rezistență adițională.

Cele arătate despre ampermetre și voltmetre se pot aplica, respectiv, celor două bobinaje ale unui wattmetru.

Wattmetrul fiind un aparat electrodinamic, ecuația sa de funcționare este

$$\alpha = k_1 I_1 k_2 I_2,$$

în care: I_1 este curentul ce trece prin bobina de curent iar
I_2 — curentul ce trece prin bobina de tensiune.

Dacă:

$$I_1 = I_{măs}$$

este curentul total din circuitul de măsurat, care parcurge bobina de curent a aparatului, iar

$$I_2 = \frac{U}{R_v}$$

este curentul care parcurge bobina de tensiune a aparatului, proporțional cu tensiunea rețelei, atunci ecuația de funcționare a wattmetrului devine

$$\alpha = k_1 I_{măs} k_2 \frac{U}{R_v} = kUI_{măs} = KP,$$

în care K este o constantă, iar P puterea.

Wattmetrul electrodinamic poate fi folosit și în curent alternativ, în care caz — dacă va fi conectat ca în curent continuu (fig. 36, *b*) — va măsura puterea activă, deviația lui fiind:

$$\alpha = kP_a = kUI \cos \varphi,$$

în care cos φ este factorul de putere al circuitului, avînd valori cuprinse între 0 și 1.

Spre deosebire de ampermetrele și voltmetrele electrodinamice, care au diviziunile inegale pe scările respective, un wattmetru electrodinamic are scara gradată (în wați) uniformă, după cum rezultă din ecuația de funcționare a wattmetrului.

Tabela 4

Valorile aproximative de consum propriu ale diverselor tipuri de aparate

Nr. curent	Tipul aparatului	Consum în W (VA)	
		Ampermetre și bobinele serie la un curent de 5 A	Voltmetre și bobinele derivație la o tensiune de 100 V
1	Ampermetru magnetoelectric	0,2— 0,5 (1–3)	—
2	„ cu redresor		—
3	„ termoelectric		
4	„ electromagnetic	1 — 2,5	—
5	„ electrodinamic	3,5—10	—
6	„ de inducție	4 — 7,5	—
7	„ termic	2 — 2,5	—
8	„ înregistrator	5 —15	—
9	Voltmetru magnetoelectric	—	0,1— 1 (9–10)
10	„ cu redresor	—	
11	„ electromagnetic	—	4 — 6
12	„ electrodinamic	—	6 —12
13	„ de inducție	—	5 —10
14	„ termic	—	8 —15
15	„ electronic	—	20 —30
16	„ înregistrator	—	10 —20
17	Wattmetru electrodinamic	1,5— 5	3 — 5
18	„ de inducție	2 — 5	3 — 6
19	„ înregistrator	3 —10	8 —15
20	Fazmetru electrodinamic	3,5 (20–21)	5 — 8 (20–21)
21	„ ferodinamic		
22	Contoare de inducție	1 — 2,5	1 — 4
23	Frecvențmetre		2 — 5

Deoarece deviația acului wattmetrului este proporțională cu puterea, dacă sensul de circulație al puterii se schimbă, se schimbă și sensul mișcării echipajului mobil, deci al acului indicator. Cu alte cuvinte, dacă se folosește un wattmetru pentru a

măsura puterea pe care o debitează un generator și dacă se face ca generatorul să funcționeze în regim de motor, deci să absoarbă putere, acul wattmetrului va devia în sens contrar celui corespunzător funcționării în regim de generator. Pentru ca acul indicator să se miște pe scara gradată în sens normal, este suficient să se schimbe sensul curentului într-una dintre bobine — lucru care se realizează prin inversarea legăturilor uneia dintre bobine, de obicei ale bobinei de tensiune. De aceea, wattmetrele sînt prevăzute cu un comutator pentru schimbarea sensului curentului din bobina de tensiune.

Wattmetrul are una din bornele bobinei de curent și una a bobinei de tensiune marcate cu semnul * (polarizate).

Pentru ca wattmetrul să dea indicații în sensul bun, curentul trebuie să aibă un anumit sens în ambele bobinaje ; de aceea racordarea în circuit se face legînd unul din conductoarele de alimentare la borna polarizată a bobinei de curent și borna polarizată a bobinei de tensiune la același conductor (fig. 36).

Consumația unui wattmetru este egală cu suma consumațiilor celor două bobine. Întrucît aceste bobine trebuie să îndeplinească condițiile impuse ampermetrelor, respectiv, voltmetrelor, ele trebuie să fie astfel construite, încît consumațiile lor să fie cît mai mici. Rezultă, deci, că și consumația unui wattmetru este foarte redusă, ea atingînd doar cîțiva wați.

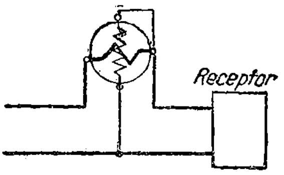


Fig. 37. Legarea în circuit a unui wattmetru, cu montajul aval al bobinei de tensiune.

Valorile consumului propriu ale unui wattmetru sînt date în tabela 4.

Bobina de tensiune a unui wattmetru poate fi legată înaintea bobinei de curent (montaj amonte) (fig. 36) sau după bobina de curent (montaj aval) (fig. 37).

Această legare se efectuează respectîndu-se următoarele reguli :

Cînd tensiunea de la bornele circuitului electric este mare, iar valoarea curentului care îl străbate este mică, bobina de tensiune se leagă înaintea bobinei de curent (montaj amonte).

Cînd tensiunea de la bornele circuitului este mică, iar intensitatea curentului este mare, bobina de tensiune se leagă după bobina de curent (montaj aval).

De exemplu, dacă — într-un circuit — tensiunea este de 220 V și curentul de 50 A, bobina de tensiune se leagă înaintea bobinei de curent ; în cazul cînd circuitul are tensiunea de 50 V și curentul de 500 A, bobina de tensiune se leagă după bobina de curent.

Pentru măsurarea puterilor mari — în circuite cu curenți mari sau cu tensiuni înalte — se folosesc — ca în cazul ampermetrelor și al voltmetrelor — șunturi sau transformatoare de curent și, respectiv, rezistențe adiționale sau transformatoare de tensiune.

D. Contorul

1. Contorul este un aparat cu ajutorul căruia se măsoară energia electrică pe care o produce o sursă electrică (generator, centrală electrică etc.) sau pe care o consumă un receptor. Energia electrică dintr-un circuit de curent continuu se exprimă prin relația:

$$W = UIt = Pt$$

în care W este exprimat în wattsecunde, U — în volți, I — în amperi și t — în secunde.

Rezultă, deci, că — pentru a măsura energia electrică — trebuie să măsurăm cu același aparat produsul dintre tensiunea la bornele circuitului, curentul care circulă prin acest circuit și timpul în care se produce sau se consumă puterea electrică corespunzătoare. Această măsurare simultană nu mai poate fi făcută cu aparatele examinate pînă acum. Pentru aceasta au fost construite aparate speciale numite contoare electrice.

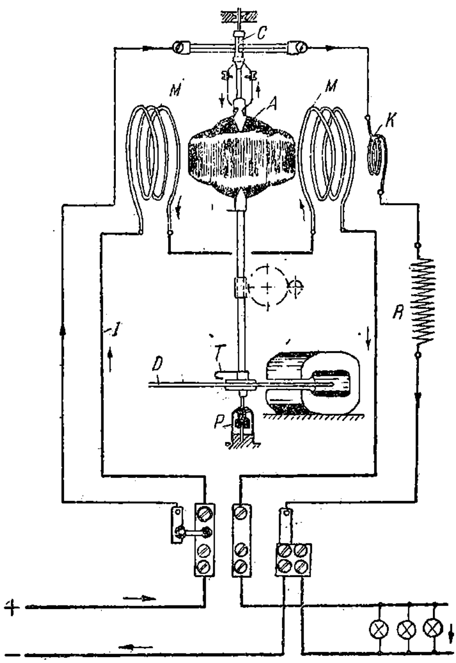


Fig. 38. Contorul electrodinamic (contor motor sau Thomson) și legarea lui într-un circuit de c.c.:

M — bobină fixă ; A — indus mobil ; C — colector ; K — bobinaj de compensare ; R — rezistență adițională ; D — disc de aluminiu ; P — lagăr inferior.

2. Un contor electric este format dintr-un mic motor electric de curent continuu, al cărui inductor (excitație) cuprinde două bobine M alimentate în serie de curentul principal din circuitul în care se măsoară energia electrică (fig. 38). Rotorul A al motorului (indusul), în serie cu o rezistență mare R, este legat în

derivație în circuitul de măsurat; el este deci alimentat cu un curent proporțional cu tensiunea rețelei. Sub acțiunea acestor doi curenți indusul motorului se rotește ca și bobina mobilă a unui wattmetru electrodinamic, principiul de funcționare al acestui contor fiind același. Însă, spre deosebire de bobina mobilă a wattmetrului, rotorul contorului nu mai este prevăzut cu un dispozitiv antagonist format din resoarte care să-i oprească mișcarea, ci se poate roti continuu în același sens. Viteza sa de rotație este cu atît mai mare cu cît produsul celor doi curenți (curentul serie și curentul derivație) este mai mare.

Rotorul antrenează, în mișcarea sa, un disc de cupru sau de aluminiu *D*, fixat pe axul său; acest disc se mișcă între polii unui magnet permanent. Curenții turbionari ce iau naștere în disc în timpul mișcării produc un cuplu rezistent, care se opune mișcării rotorului și are ca efect uniformizarea vitezei acestuia. In aceste condiții, numărul de rotații pe minut ale acestui motor este proporțional cu puterea electrică măsurată. Numărînd rotațiile pe care le face motorul într-un anumit timp se găsește valoarea energiei care trece prin contor și care este absorbită de circuit. Măsurarea rotațiilor se face cu ajutorul unui mecanism cu roți dințate, astfel încît pe cadranul contorului se poate citi direct energia în kWh (fig. 39).

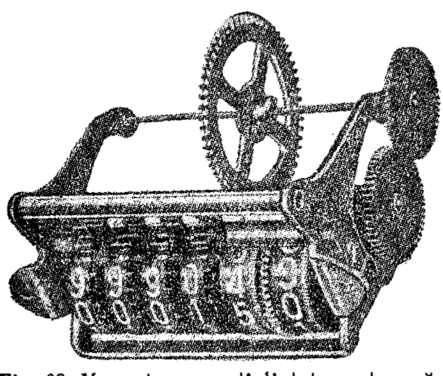


Fig. 39. Mecanism cu roți dințate pentru măsurarea numărului de rotații ale echipajului mobil.

Acest sistem de contor, numit contorul-motor sau contorul Thomson, după numele inventatorului, se folosește, în general, numai în curent continuu. Principiul său de funcționare fiind același cu cel al unui aparat electrodinamic, el poate fi folosit și în curent alternativ, unde va înregistra energia activă $W_a = P_a t$. Un alt contor pentru curent continuu, folosit în cazul cînd tensiunea rețelei este riguros constantă, este contorul la care bobina inductoare este înlocuită printr-un magnet permanent, iar indusul *1* este alimentat de curentul din circuitul principal, prin intermediul unui șunt (fig. 40). Acest sistem de contor se mai numește *amperorămetru*, pentru că — de fapt — el măsoară numai curentul care se scurge într-un

anumit timp (cantitatea de electricitate). Înmulțind rezultatul obținut cu tensiunea constantă, obținem valoarea energiei. Mecanismul de înregistrare poate indica direct această valoare în kWh.

3. Pentru măsurarea energiei electrice în curent alternativ sînt utilizate numai contoare de inducție. Sistemul motor al unui asemenea contor este format dintr-un disc, de cupru sau de aluminiu, așezat pe un ax vertical. Acest disc se mișcă sub acțiunea unui sistem de electromagneți, unul avînd bobinajul *1* legat în serie, iar al doilea *3* în paralel, cu circuitul în care se măsoară energia electrică (fig. 41).

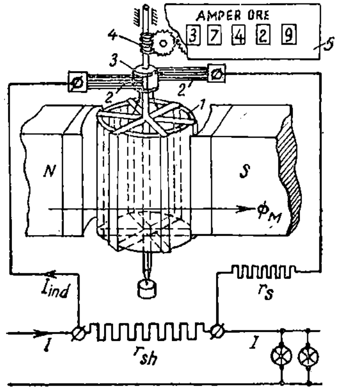


Fig. 40. Amperorămetrul; schema de principiu și de legare la rețea: 1 – indus; 2 – perii; 3 – colector; 4 – transmisie melc; 5 – dispozitiv de înregistrare.

Cîmpurile magnetice produse de cele două bobinaje dau naștere în disc la curenți turbionari (Foucault) care, prin reacție electromagnetică, produc cuplul motor sub acțiunea căruia se rotește discul *8*. Acest cuplu motor poate fi astfel aranjat încît viteza de rotație a discului să fie proporțională cu puterea de măsurat. Cuplului motor i se opune un cuplu rezistent produs de acțiunea unui magnet permanent *7* asupra aceluiași disc și al cărui scop este uniformizarea vitezei. În aceste condiții, numărul de rotații pe care le face discul într-un anumit timp reprezintă energia care a trecut prin contor și deci a fost absorbită de circuit.

Măsurarea energiei se face tot cu ajutorul unui dispozitiv care înregistrează numărul de rotații ale discului, identic cu acel folosit la contorul electrodinamic și ale cărui indicații dau direct energia măsurată, în kWh.

În construcția lui, un contor cuprinde o serie întreagă de accesorii ca: sistem de frînare la mers în gol *12—13*, corector al cuplului rezistent *9*, bobinajele de compensare *4* etc. (fig. 41).

4. Legarea la rețea a contoarelor necesită o deosebită atenție, deoarece o eroare oricît de mică în executarea acestor legături poate duce la erori foarte mari în măsurarea energiei electrice. În mod obișnuit, fiecare contor este însoțit de schema sa de legături. În cazul contoarelor de curent continuu sau al celor de curent alternativ monofazat, această schemă este asemănătoare și destul de simplă (fig. 38, 41, 42, *a*, *b* și *c*).

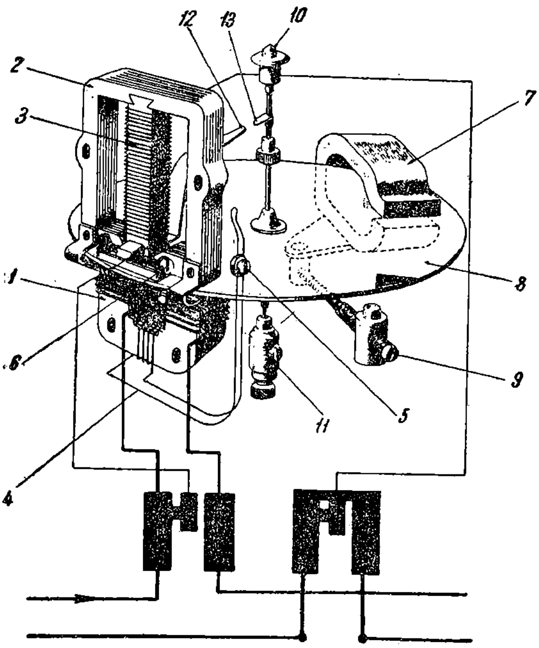
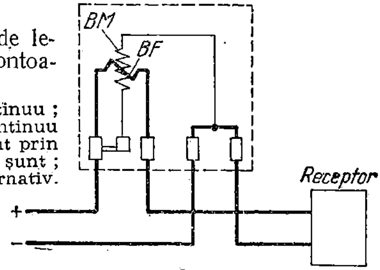


Fig. 41. Schema de construcție și de legare la rețea a contorului monofazat de inducție:

1 — electromagnet de curent; 2 — electromagnet de tensiune; 3 — bobina de tensiune a contorului; 4 — bobinaj de compensare; 5 — reglajul bobinajului (4); 6 — șunt reglabil al electromagnetului de tensiune; 7 — magnet permanent; 8 — disc nemagnetic; 9 — corectorul cuplului antagonist; 10 — lagăr superior; 12—13 — opritor la mersul în gol.



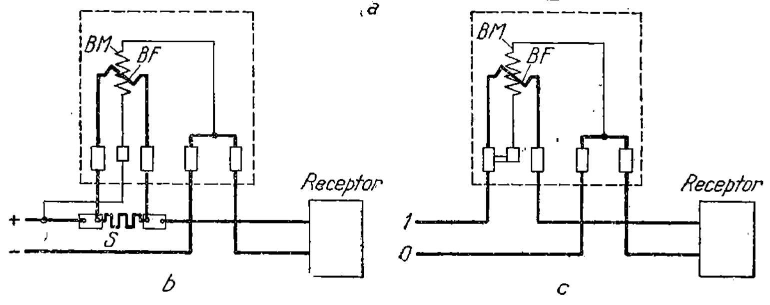


Fig. 42. Scheme de legare la rețea a contoarelor:

a — în curent continuu; b — în curent continuu cu bobina de curent prin intermediul unui șunt; c — în curent alternativ.

Ca și la bobinele wattmetrelor, bobinele unui contor nu pot fi confecționate pentru curenți prea mari sau pentru tensiuni prea înalte. Ca și la wattmetre, sînt folosite șunturi și rezistențe adiționale — pentru contoarele de curent continuu — și, respectiv, transformatoare de măsură — pentru contoarele de curent alternativ.

Consumul propriu al unui contor trebuie să fie de asemenea redus ; el este indicat în tabela 4.

E. Logometre

1. **Generalități.** Logometrul este un aparat de măsurat care măsoară *raportul* dintre două mărimi electrice. Indicațiile unui logometru nefiind determinate de valoarea acestor mărimi ci numai de raportul lor, ele sînt independente de variația — în anumite limite — a acestor mărimi.

Cu logometrele pot fi măsurate mărimile care sînt definite prin raportul a două mărimi cum sînt de exemplu : rezistența și impedanța, inductanța, capacitatea, frecvența, factorul de putere (defazajul) etc. De asemenea aparatele de sincronizare [1]) se construiesc folosind principiul de funcționare al logometrului.

2. **Construcția logometrelor.** Pentru a putea măsura raportul a două mărimi, un logometru trebuie să comporte două dispozitive de măsurat, care primesc fiecare respectiv una din cele două mărimi care formează raportul și acționează asupra unui ax comun al echipajului mobil pe care este fixat acul indicator. Cele două dispozitive de măsurat creează fiecare cîte un cuplu activ care acționează în sensuri contrarii : egalitatea acestor cupluri determină poziția de echilibru a echipajului mobil. Din aceste motive nu sînt necesare dispozitive mecanice (resoarte) care să creeze cuplul antagonist.

Construcția logometrelor se poate face pornind de la orice sistem de măsură utilizat pentru aparatele de măsurat, aceasta depinzînd numai de destinația și proprietățile cerute logometrului. Dispozitivele de măsurat ale logometrului în ansamblul lor pot avea o serie de piese comune, de exemplu magnetul permanent la logometrele magnetoelectrice, elementul mobil comun la logometrele electromagnetice etc.

Unghiul dintre cele două bobine care primesc mărimile de măsurat poate fi oarecum, cuprins între 5° și 90°, aceasta depinzînd de sensibilitatea ce se urmărește a se da aparatului, de regularitatea diviziunilor scării etc.

---

[1]) V. cap. VI. 5.

În fig. 43 sînt arătate principiile de construcție a logometrelor magnetoelectrice. Cuplul M_1 produs de prima bobină mobilă parcursă de curentul i_1 este

$$M_1 = k_1 i_1 B \sin \alpha ;$$

cuplul produs de cea de a doua bobină, așezată la un unghi δ față de prima, parcursă de curentul i_2 este

$$M_2 = k_2 i_2 B \sin(\delta - \alpha);$$

în ambele relații B este cîmpul de inducție magnetică al magnetului permanent.

La echilibru

$$M_1 = M_2$$

și deci

$$\frac{i_2}{i_1} = k \frac{\sin \alpha}{\sin(\delta - \alpha)},$$

k_1, k_2 și k fiind constante de construcție a aparatului.

Dacă bobinele sînt așezate la 90° una de alta ($\delta = 90°$) atunci relația de mai sus devine

$$\frac{i_2}{i_1} = k \operatorname{tg} \alpha.$$

În fig. 44 sînt arătate principiile de construcție a logometrelor electrodinamice. În acest caz, cuplul M_1 produs de prima bobină mobilă parcursă de curentul i_1 este dat de relația

$$M_1 = k_1 i_1 I \cos \varphi_1 \sin \alpha,$$

unde I este curentul care străbate spirele bobinei fixe și φ_1 defazajul dintre curentul i_1 și I.

Bobina 2 fiind așezată cu un unghi δ față de prima bobină, dacă φ_2 este defazajul dintre curentul i_2 ce străbate această bobină și curentul I din bobina fixă, cuplul corespunzător este

$$M_2 = k_2 i_2 I \cos \varphi_2 \sin(\delta - \alpha).$$

La echilibru

$$M_1 = M_2$$

și deci

$$\frac{i_2 \cos \varphi_2}{i_1 \cos \varphi_1} = k \frac{\sin \alpha}{\sin(\delta - \alpha)}.$$

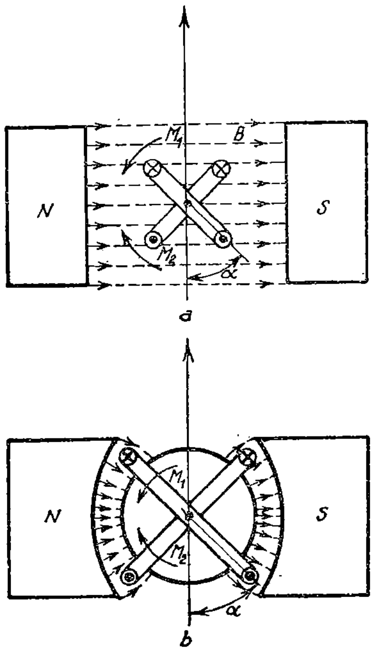


Fig. 43. Scheme de principiu ale unui logometru magnetoelectric:

a – cu cîmp de inducție magnetică omogen ; b – cu cîmp de inducție magnetică cu repartiție radială sinusoidală.

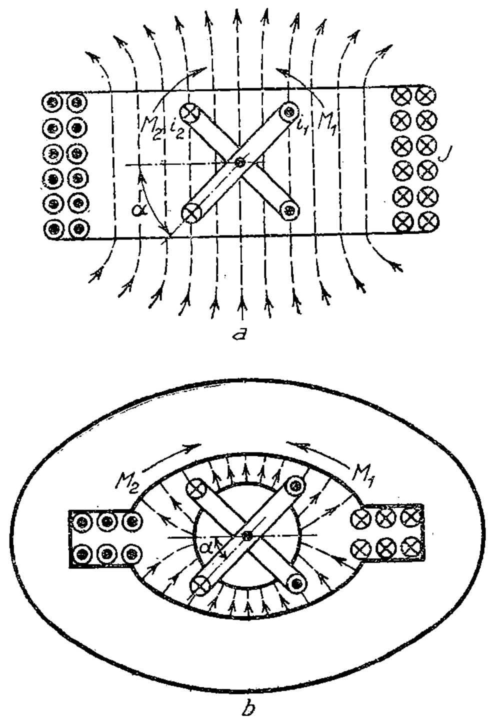


Fig. 44. Schema de principiu a unui logometru electrodinamic:

a – simplu ; b – ferodinamic.

În practică situația de funcționare este aranjată astfel încît

$$i_1=i_2,\quad \varphi_2=\frac{\pi}{2}-\varphi_1,\quad \delta=\frac{\pi}{2}$$

și relația de mai sus devine

$$\text{tg}\,\varphi=k\,\text{tg}\,\alpha.$$

În fig. 45 sînt date schemele celor mai răspîndite tipuri de logometre electromagnetice.

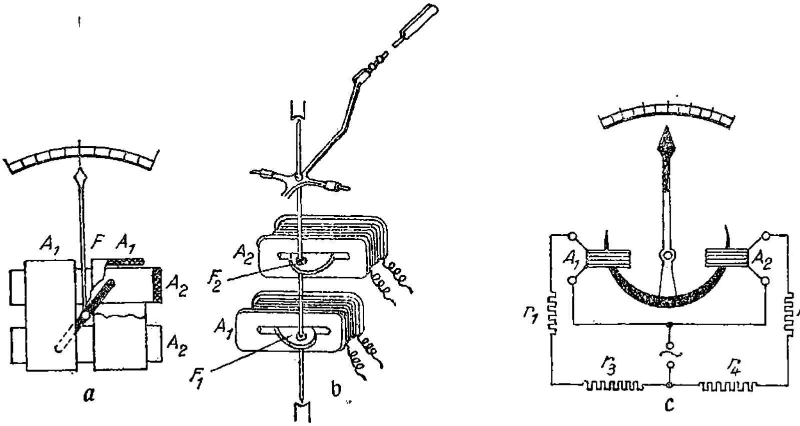


Fig. 45. Schema de principiu a unui logometru electromagnetic :
a — cu bobine încrucișate ; *b* — cu două miezuri magnetice ; *c* — cu miez în formă de seceră.

Funcționarea acestor aparate este analogă cu a precedentelor, însă ecuația lor de funcționare este mult mai complicată.

Logometre pot fi construite și pe alte principii de funcționare, descrierea lor însă iese din cadrul acestei lucrări.

Pe principiul logometrelor se construiesc numeroase aparate de măsurat dintre care unele vor fi descrise în cap. IX.

F. Transformatoarele de măsură

1. Transformatoarele de măsură sînt aparate auxiliare care servesc la legarea în circuitele parcurse de curenți alternativi foarte mari și alimentate de tensiuni înalte a aparatelor electrice de măsurat obișnuite.

Transformatoarele de măsură sînt construite, în principiu, în mod asemănător cu transformatoarele de forță : ele au un miez

de fier pe care sînt montate două înfășurări ; una primară — care se leagă la circuitul de măsurare — și una secundară — la care se conectează aparatele de măsurat. Miezul de fier împreună cu înfășurările sînt introduse în cuve umplute cu ulei (fig. 46), cu o masă izolantă solidă sau cu nisip. Uneori — și anume la transformatoarele mici — înfășurările sînt introduse numai într-o cutie protectoare.

Deosebim două feluri de transformatoare de măsură : transformatoarele de curent și transformatoarele de tensiune. Primele servesc la măsurarea valorii curentului care circulă prin-

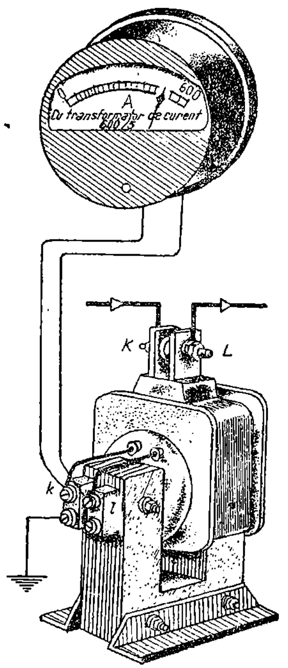


Fig. 46. Legarea la rețea a unui ampermetru prin intermediul unui transformator de curent.

K, L — bornele primarului transformatorului ; *k, l* — bornele secundarului transformatorului.

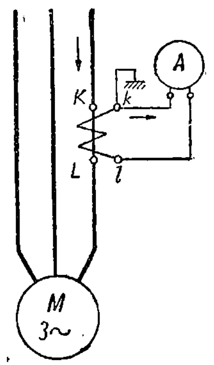


Fig. 47. Măsurarea curentului absorbit pe o fază de un motor trifazat cu un ampermetru legat prin intermediul unui transformator de curent.

tr-un circuit ; de aceea, înfășurarea lor primară va trebui legată în serie în acest circuit — prin bornele *K, L* — întocmai ca înfășurarea unui ampermetru. Aparatele de măsurat se leagă la bornele înfășurării secundare *k, l* (fig. 46, 47, 48). Celelalte servesc la măsurarea tensiunilor mari ; de aceea, înfășurarea lor primară va trebui legată în derivație în circuitul de măsurat prin bornele *U* și *V*, ca și înfășurarea voltmetrelor ; aparatele de măsurat se leagă la bornele secundare *u, v* (fig. 49).

Înfășurarea primară a unui transformator de măsură este calculată pentru curentul sau pentru tensiunea totală care trebuie măsurate. Înfășurarea secundară este construită pentru a fi parcursă de un curent maxim de 1 sau 5 A, respectiv o tensiune maximă de 100 sau de 110 V.

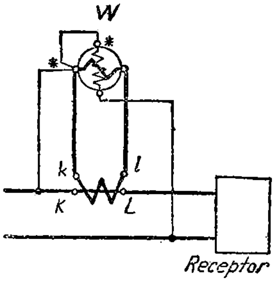


Fig. 48. Legarea bobinei de curent a unui wattmetru monofazat printr-un transformator de curent (măsurare semidirectă).

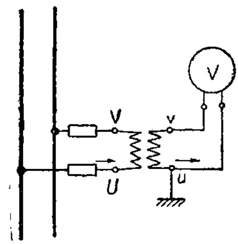


Fig. 49. Legarea la rețea a unui voltmetru printr-un transformator de tensiune:

U, V – bornele înfășurării primare a transformatorului; *u, v* – bornele înfășurării secundare a transformatorului.

În modul acesta, cu un ampermetru de 5 A și cu un voltmetru de 110 V, pot fi măsurați curenți foarte mari sau tensiuni foarte înalte. Spre exemplu, dacă trebuie măsurat un curent de 1000 A, va fi folosit un transformator de curent de 1000 A/5 A, iar curentul va fi măsurat la bornele secundarului acestui transformator, cu un ampermetru de 5 A. De asemenea, dacă trebuie măsurată o tensiune de 35 000 V, va fi folosit un transformator de tensiune de 35 000 V/100 V, iar tensiunea va fi măsurată la bornele secundarului acestui transformator, cu un voltmetru de 110 V.

2. *La legarea în circuit a transformatoarelor de măsură, pentru a fi siguri că nu facem nici un fel de greșală în măsurare și că nu punem în pericol nici viața persoanelor care efectuează măsurarea, nici instalațiile, trebuie să respectăm cu strictețe următoarele reguli:*

R e g u l a 1. Dacă înfășurarea primară a unui transformator de măsură este legată la un circuit de înaltă tensiune, este interzisă atingerea transformatorului. Este periculoasă nu numai atingerea bornelor primare ale transformatorului de măsură, ci și atingerea bornelor secundare, din cauza apropierii acestora de părțile legate la înalta tensiune. Dacă trebuie schimbată sensi-

bilitatea transformatorului, se întrerupe, în prealabil, circuitul de alimentare, iar toate bornele transformatorului se leagă la pămînt, pentru ca să nu existe nici o parte sub tensiune și, deci, atingerea transformatorului să nu mai prezinte nici un pericol.

Regula 2. Cînd înfășurarea primară a unui transformator de curent este legată la un circuit, înfășurarea secundară a acestui transformator trebuie să fie neapărat legată fie la un aparat de măsurat fie în scurtcircuit.

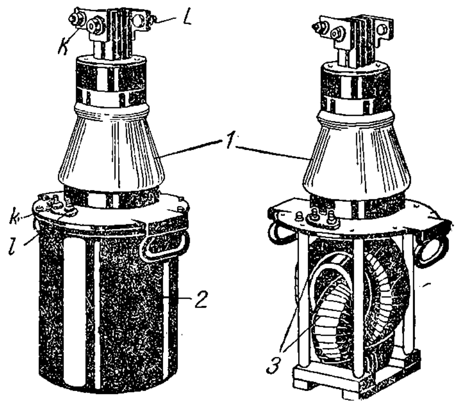


Fig. 50. Transformator de curent fix, în formă de izolator suport, cu bobinajele în baie de ulei:

1 – izolator ; 2 – cuvă cu ulei ; 3 – bobinajele transformatorului.

Se știe că înfășurarea secundară a unui transformator parcursă de curent produce în miezul de fier un flux care se opune fluxului produs de înfășurarea primară. În cazul unui transformator de curent, fluxurile produse de cele două înfășurări sînt aproape egale, astfel încît prin fierul transformatorului circulă un flux rezultant foarte mic. Dacă înfășurarea secundară a acestui transformator se lasă deschisă, fluxul produs de înfășurarea secundară va dispărea, astfel încît prin fier va trece întregul flux produs de înfășurarea primară. Întrucît acest flux este proporțional cu curentul care străbate această înfășurare (și care poate fi foarte mare — fiind chiar curentul din circuitul primar), el poate avea valori foarte mari, care produc încălzirea peste măsură a fierului transformatorului. Din aceeași cauză, se produce în bobinajul primar o cădere de tensiune foarte mare, iar la bornele secundare — o tensiune care poate fi periculoasă.

Regula 3. Înfășurarea secundară a unui transformator de tensiune trebuie legată la o rezistență foarte mare sau poate fi lăsată deschisă.

Fiind legat în paralel cu circuitul de măsurat a cărui tensiune este constantă, transformatorul de tensiune se comportă ca un transformator de forță obișnuit. În cazul funcționării cu circuitul secundar deschis, prin fierul transformatorului trece întotdeauna un flux constant și proporțional cu tensiunea aplicată la borne. Dacă circuitul secundar se închide pe o rezistență mare,

prin bobinajul secundar circulă un curent care produce un flux opus fluxului primar. Întrucît rezistența aparatului de măsurat este mare, curentul care circulă prin bobinajul secundar este mic și — deci — și fluxul produs este mic. Acest flux poate fi compensat cu ușurință de înfășurarea primară care absoarbe din rețea un curent mai mare. Pentru ca această cerere de curent să fie cît mai mică, este necesar ca rezistența electrică a aparatului de măsurat să fie cît mai mare.

Regula 4. Este absolut necesar să se instaleze siguranțe fuzibile în circuitul de înaltă tensiune al transformatoarelor de tensiune; pe partea de joasă tensiune se pun siguranțe fuzibile numai la bornele care nu sînt legate la pămînt.

Regula 5. Într-un montaj cu transformatoare de curent și de tensiune (fig. 51, 52), este absolut necesar să se lege la pămînt una dintre bornele fiecărui circuit secundar, cum și masa tuturor transformatoarelor de măsură. Cea mai mică secțiune a conductoarelor de legare la pămînt va fi de 16 mm^2, în cazul folosirii conductoarelor de cupru.

Aceste legături se fac spre a se evita ca partea de joasă tensiune și aparatele de măsurat să primească, în mod accidental, tensiunea înaltă, care este periculoasă pentru observator.

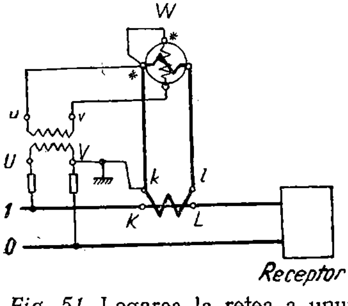


Fig. 51. Legarea la rețea a unui wattmetru monofazat prin transformatoare de măsură.

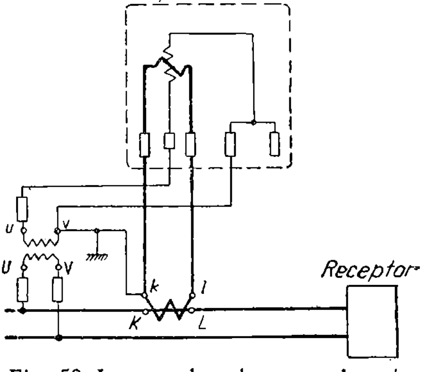


Fig. 52. Legarea la rețea a unui contor monofazat prin transformatoare de măsură.

3. **Construcția transformatoarelor de curent.** Transformatoarele de curent au forme diferite, în funcție de utilizările lor. Astfel, un transformator portativ de precizie pentru laborator (fig. 53) va avea o construcție diferită de a unuia fix (fig. 50) care se instalează în stațiile și centralele electrice. În general, un transformator de curent are fierul în formă de inel rotund, iar bobinajele — primar și secundar — înfășurate pe întregul inel.

Înfășurarea primară este calculată în așa fel, încît în ea să nu aibă loc o cădere de tensiune mare și, deci, pierderi mari. Numărul de spire ale acestei înfășurări este mic, iar secțiunea sîrmei destul de mare. Sînt cazuri cînd, pentru curenți mari, bobinajul primar se reduce la o singură bară. În construcția obișnuită,

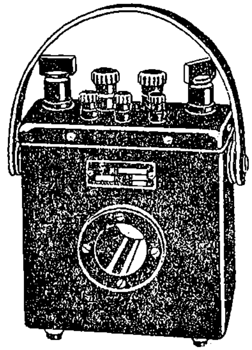


Fig. 53. Transformator de curent de laborator (portabil). Acest transformator are mai multe sensibilități. Pentru măsurarea curenților mari se trece conductorul prin gaura transformatorului.

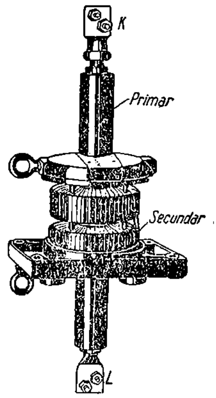


Fig. 54. Transformator de curent în formă de izolator de trecere:
K, L — bornele primarului.

această bară se izolează cu un tub de porțelan, peste care sînt montate două miezuri inelare de fier cu înfășurarea secundară. Aceste transformatoare formează izolatoare de trecere prin pereții încăperilor sau prin carcasele aparatelor (fig. 54).

Pentru a se putea măsura și curenți mai mici, în special în instalațiile de înaltă și foarte înaltă tensiune, s-au construit transformatoare cu buclă (fig. 55), a căror înfășurare primară, în formă de buclă, trece de mai multe ori prin miezul de fier. Aceste transformatoare se construiesc pentru curenți de la 10 la 600 A.

Înfășurarea secundară a transformatoarelor de curent se calculează, în general, pentru 5 A, înțelegîndu-se prin aceasta că, atunci cînd prin înfășurarea primară trece curentul nominal — pentru care aceasta a fost calculată — prin înfășurarea secundară va trece un curent de numai 5 A.

Transformatoarele de curent cu înfășurarea secundară dimensionată pentru 1 A se utilizează acolo unde lungimea conductelor

de legătură între secundarul transformatorului de curent și aparatele de măsură este mare, aceasta pentru a preîntîmpina căderea de tensiune în conducte și deci a micșora eroarea de măsură. Înfășurarea secundară are mult mai multe spire decît înfășurarea primară. Pentru a vedea cît de mare este acest număr de spire, să considerăm un transformator de 500/5 A, care are două spire în înfășurarea primară. Notînd cu I_1, n_1, I_2 și n_2, respectiv, curenții și numerele de spire ale înfășurărilor primară și secundară, între aceste mărimi există relația

$$n_1 I_1 = n_2 I_2.$$

Din această relație, în cazul exemplului considerat, rezultă că :

$$n_2 = n_1 \frac{I_1}{I_2} = 2 \times \frac{500}{5} = 200 \text{ spire.}$$

În fig. 50, 53, 54 și 55 sînt reprezentate diferite tipuri de transformatoare de curent.

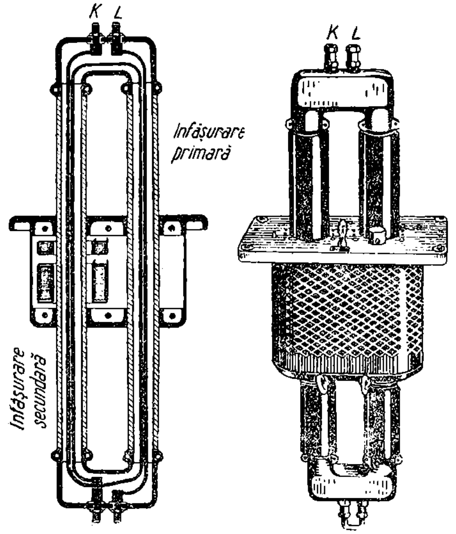
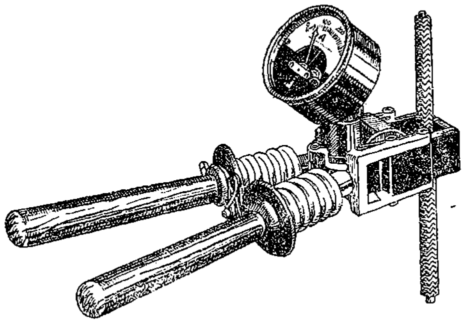


Fig. 55. Transformator de curent cu buclă : K, L — bornele primarului.

Pentru măsurarea valorii curentului dintr-o conductă monofazată (bară la tablou, legătură de alimentare etc.), se folosește un aparat numit *clește Dietze* (fig. 56). Cleștele Dietze este un transformator de curent al cărui miez de fier se deschide ca un clește și poate cuprinde conducta al cărei curent se măsoară. Această conductă constituie primarul transformatorului de curent, secundarul său fiind bobinat pe fierul cleștelui. Aparatul de măsurat se fixează pe clește cu ajutorul unor picioare metalice care intră în niște bucșe — la care sînt legate capetele secundarului transformatorului.


Fig. 56. Transformator de curent în formă de cleşte.

Transformatorul de curent în formă de cleşte este un aparat foarte folositor, întrucît cu ajutorul lui se pot măsura valorile curentului în orice conductor, fără a fi necesară întreruperea circuitului pentru conectarea unui ampermetru.

Aceste transformatoare se construiesc pentru o gamă mare de curenţi şi de tensiuni.

4. **Construcţia transformatoarelor de tensiune.** Transformatoarele de tensiune se construiesc aproape întotdeauna sub forma unor transformatoare cu coloane, cu bobinajul aşezat pe una sau pe două coloane, înfăşurarea de joasă tensiune fiind întotdeauna acoperită de înfăşurarea de înaltă tensiune.

Transformatoarele de tensiune pot fi construite monofazate, bifazate, trifazate etc. Ele au, în general, acelaşi aspect ca şi transformatoarele de forţă (fig. 57).

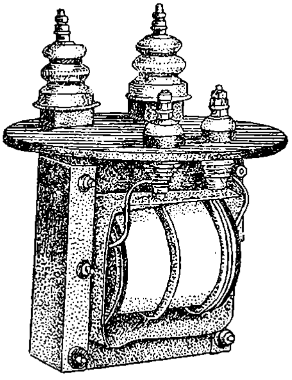


Fig. 57. Transformator de tensiune pentru 6000/100 V.

5. **Precizia transformatoarelor de măsură.** Ca şi aparatele de măsurat, transformatoarele de măsură se grupează în clase de precizie. Acestea sînt date în tabelele 5 (pentru transformatoarele de curent) şi 6 (pentru transformatoarele de tensiune).

Din aceste tabele observăm că un transformator de măsură poate prezenta două feluri de erori: o eroare datorită raportului de transformare (numită eroare de curent şi, respectiv, de tensiune) şi o eroare datorită unghiului pe care îl fac vectorii care reprezintă mărimile primară şi secundară (numită eroare de unghi).

Tabela 5

Erorile maxime admise pentru transformatoarele de curent din clasele 0,2—10

Curentul primar în % din valoarea nominală	Clasa 0,2		Clasa 0,5		Clasa 1		Clasa 3		Clasa 10	
	Eroare de curent, %	Eroare de unghi în minute	Eroare de curent, %	Eroare de unghi în minute	Eroare de curent, %	Eroare de unghi în minute	Eroare de curent, %	Eroare de unghi în minute	Eroare de curent, %	Eroare de unghi în minute
10%	±0,5	±20	±1	±60	±2	±120	—	nelimitată	—	nelimitată
20%	±0,35	±15	±0,75	±50	±1,5	±100	—	nelimitată	—	nelimitată
100%	±0,2	±10	±0,5	±40	±1	±80	±3	nelimitată	±10	nelimitată

Tabela 6

Erorile maxime admise pentru transformatoarele de tensiune din clasele 0,2—3

Clasa	Tensiunea în % din tensiunea nominală	Eroarea de tensiune	Eroarea de unghi
0,2	80–120%	±0,2%	±10′
0,5	80–120%	±0,5%	±20′
1	80–120%	±1%	±40′
3	100%	±3%	nelimitată

Se știe că acești vectori trebuie să fie în opoziție, adică unghiul dintre ei să fie de 180°. Eroarea de unghi arată cu cît cei doi vectori nu sînt în opoziție. Cunoașterea ei este necesară în special pentru determinarea erorii în măsurarea puterii și a energiei.

Eroarea de curent, respectiv de tensiune, se datorește faptului că raportul nominal de transformare (la transformatorul de curent $k_I = \frac{I_{1.nom}}{I_{2.nom}} \approx \frac{n_2}{n_1}$, la transformatorul de tensiune $k_u = \frac{U_{1.nom}}{U_{2.nom}} \approx \frac{n_1}{n_2}$) diferă de raportul de transformare real, care se determină ținînd seama de căderea de tensiune în înfășurări (la transformatorul de tensiune) și de valoarea curentului de mers în gol (la transformatoarele de curent).

Erorile transformatoarelor de tensiune depind de valoarea și felul sarcinii secundare, de valoarea tensiunii primare și de frecvența curentului alternativ. Erorile transformatoarelor de curent depind de sarcina secundară, curentul secundar, frecvența curentului și calitățile miezului de fier.

6. **Puterea transformatoarelor de măsură.** Puterea maximă aparentă care poate fi obținută de la un transformator de măsură, fără ca erorile acestuia să depășească valorile admise de prescripții, se numește *puterea nominală* a transformatorului.

Deoarece tensiunea secundară a transformatorului este cunoscută, încărcarea admisibilă a acestuia poate fi caracterizată nu numai prin puterea nominală ci și prin *curentul secundar* no-

minal sau prin *rezistența nominală* a circuitului secundar ; aceste mărimi sînt legate între ele prin relația

$$P_N = U_{N2} I_{N2} = \frac{U_{N2}^2}{Z_{N2}} = Z_{N2} I_{N2}^2 .$$

În practică se obișnuiește ca aceasta să se exprime în VA numai pentru transformatoarele de tensiune. Pentru transformatoarele de curent puterea nominală este exprimată în ohmi prin *rezistența nominală* a acestuia, care este definită după cum urmează :

Rezistența nominală a transformatorului de curent este rezistența maximă ce poate fi conectată la înfășurarea secundară a transformatorului respectiv, fără ca eroarea să depășească valorile admise de prescripțiuni.

Puterea nominală a transformatoarelor de măsură este întotdeauna indicată de fabrica constructoare și este imprimată pe placa transformatorului.

În tabela 7 sînt date puterile nominale ale unor tipuri uzuale de transformatoare de tensiune.

Pentru transformatoarele de curent, la un curent secundar nominal de 5 A, valorile rezistențelor nominale sînt : 0,2 ; 0,6 ; 0,8 ; 1,2 și 2 Ω.

La proiectarea instalațiilor de măsurare, precum și la efectuarea acestor instalații este bine să se verifice dacă transforma-

Tabela 7

Puterea nominală a transformatoarelor de tensiune

<table>
<tr><th rowspan="3">Nr. crt.</th><th rowspan="3">Tipul transformatorului</th><th rowspan="2">Tensiunea nominală din primar U</th><th colspan="3">Puterea nominală P pentru clasa de precizie</th><th rowspan="2">Puterea maximă</th></tr>
<tr><th>0,5</th><th>1</th><th>3</th></tr>
<tr><th>V</th><th colspan="3">VA</th><th>VA</th></tr>
<tr><td>1</td><td rowspan="6">Monofazat cu două înfășurări</td><td>380 ; 500</td><td>25</td><td>40</td><td>100</td><td>200</td></tr>
<tr><td>2</td><td>3 000</td><td>30</td><td>50</td><td>120</td><td>240</td></tr>
<tr><td>3</td><td>6 000</td><td>50</td><td>80</td><td>200</td><td>400</td></tr>
<tr><td>4</td><td>10 000</td><td rowspan="2">80</td><td rowspan="2">150</td><td rowspan="2">320</td><td rowspan="2">640</td></tr>
<tr><td>5</td><td>15 000</td></tr>
<tr><td>6</td><td>35 000</td><td>150</td><td>250</td><td>600</td><td>1200</td></tr>
<tr><td>7</td><td rowspan="5">Trifazat cu două înfășurări</td><td>380 ; 500</td><td rowspan="2">50</td><td rowspan="2">80</td><td rowspan="2">200</td><td rowspan="2">400</td></tr>
<tr><td>8</td><td>3 000</td></tr>
<tr><td>9</td><td>5 000</td><td>80</td><td>150</td><td>320</td><td>640</td></tr>
<tr><td>10</td><td>10 000</td><td rowspan="2">120</td><td rowspan="2">200</td><td rowspan="2">480</td><td rowspan="2">960</td></tr>
<tr><td>11</td><td>15 000</td></tr>
</table>

torul ales corespunde scopului urmărit. Această verificare se face foarte simplu.

De exemplu, să se verifice dacă la un transformator de tensiune, avînd puterea nominală de 60 VA, pot fi conectate următoarele aparate :

— un voltmetru electrodinamic ;
— bobina de tensiune a unui wattmetru electrodinamic ;
— bobina de tensiune a unui fazmetru ;
— un frecvențmetru.

Luînd din tabela 4 valoarea consumurilor proprii ale acestor aparate și făcînd suma lor, se obține încărcarea transformatorului :

$$P_2 = 12 + 5 + 8 + 5 = 30 \text{ VA};$$

cum $P_2 < P_{N2}$, rezultă că se pot conecta aparatele indicate.

Să verificăm acum dacă este posibil să se conecteze în secundarul unui transformator de curent, cu rezistența nominală secundară $Z_{N2} = 0{,}6\ \Omega$, un ampermetru electromagnetic, bobina de curent a unui wattmetru electrodinamic și bobina de curent a unui fazmetru, știind că secțiunea conductelor de conexiune, din aluminiu, este de 6 mm², iar lungimea lor fiind de 10 m.

Rezistența conductoarelor de conexiune este

$$Z_c = \rho \frac{l}{s} = \frac{l}{33} \cdot \frac{20}{6} = 0{,}1\ \Omega.$$

Din consumurile proprii ale diverselor aparate, date în tabela 4, se deduc rezistențele nominale corespunzătoare cu relația

$$Z_{N2} = \frac{P_{N2}}{I_{N2}^2};$$

se găsește :

— pentru ampermetru

$$Z_A = \frac{2{,}5}{5^2} = 0{,}1\ \Omega;$$

— pentru wattmetru

$$Z_w = \frac{5}{5^2} = 0{,}2\ \Omega;$$

— pentru fazmetru

$$Z_F = \frac{3{,}5}{5^2} = 0{,}14\ \Omega;$$

astfel că valoarea totală a rezistenței ce trebuie conectată este

$$Z_2 = 0{,}1 + 0{,}1 + 0{,}2 + 0{,}14 = 0{,}54\ \Omega.$$

Cum $Z_2 < Z_{N2}$, rezultă că aparatele indicate pot fi conectate la transformatorul dat.

CAPITOLUL III

GENERALITĂȚI ASUPRA EFECTUĂRII MĂSURĂRILOR CU APARATELE ELECTRICE DE MĂSURAT. CONSTANTELE APARATELOR

A. Generalități

1. Măsurările electrice au drept scop controlarea funcționării unei instalații (măsurări de exploatare), determinarea sau verificarea caracteristicilor unei instalații noi (măsurări de recepție), stabilirea cauzei proastei funcționări a unei instalații sau a unui aparat etc.

De asemenea, o serie de măsurări electrice se fac pentru determinarea însușirilor materialelor, în vederea folosirii lor într-un anumit scop.

Pentru efectuarea măsurărilor electrice se folosesc aparate speciale. După cum, pentru a măsura o lungime este necesar un instrument numit metru, iar pentru a măsura o masă este necesar un cîntar, tot așa pentru a măsura o mărime electrică este necesar un aparat de măsurat special, potrivit mărimii care trebuie măsurată.

Astfel, pentru a măsura o tensiune vom folosi un voltmetru, pentru a măsura un curent vom folosi un ampermetru etc.

De asemenea, după cum pentru a măsura un drum lung nu vom alege un triplu decimetru, ci un lanț de 100 m sau — invers — nu vom măsura niciodată o lungime mică, de exemplu lățimea unei cărți, cu ajutorul unei rulete de 20 m, tot așa pentru măsurarea directă a unui curent de 50 A nu vom alege un ampermetru de 5 A și nici un ampermetru de 1000 A pentru măsurarea unui curent de 1/10 A. În primul caz, aparatul se va arde, iar în al doilea caz el nu va fi sensibil la un curent atît de mic.

De aici rezultă o primă regulă :

Cînd trebuie făcută o măsurare, se apreciază întîi valoarea mărimii de măsurat, alegîndu-se apoi aparatul de măsurat corespunzător.

2. Pentru a lămuri mai bine cele afirmate, să luăm un exemplu practic. Fie de măsurat puterea electrică pe care o absoarbe un motor electric de curent continuu de 10 kW și 220 V. Pentru aceasta, va trebui să folosim un wattmetru. Deoarece bobina de tensiune trebuie legată la tensiunea de 220 V, vom alege un wattmetru cu bobina de tensiune de 250 V.

Pentru a determina ordinul de mărime al curentului, va trebui să facem un mic calcul.

Se știe că :

$$1 \text{ watt} = 1 \text{ volt} \times 1 \text{ amper}$$

sau, în general,

$$P\,[\text{watt}] = U\,[\text{volt}] \times I\,[\text{amper}]$$

Rezultă deci :

$$10\,[\text{kW}] = 10\,000\,[\text{W}] = 220\,[\text{V}] \times I\,[\text{A}]$$

deci

$$I = \frac{10\,000}{220} = 45{,}4 \text{ A}.$$

Ordinul de mărime al curentului este de circa 50 A. Wattmetrul ales trebuie să fie prevăzut cu un șunt capabil să suporte acest curent.

Pentru a măsura indirect puterea absorbită de un motor de curent continuu putem folosi un ampermetru și un voltmetru. Pentru a alege aparatele potrivite pentru această măsurare trebuie să procedăm ca mai sus.

3. La efectuarea unei măsurări electrice este necesar să se cunoască bine scopul urmărit. Trebuie să știm întotdeauna bine ceea ce urmărim, pentru a stabili ceea ce este de făcut și, mai ales, modul cum trebuie să acționăm.

După precizarea scopului măsurării, se desenează o schemă a montajului care trebuie executat în vederea efectuării măsurării și se stabilește ordinul de mărime al mărimilor de măsurat, aparatele ce vor fi folosite și sensibilitatea acestor aparate. Se efectuează, apoi, montajul — conform schemei stabilite — se verifică în amănunțime și se stabilește un program de lucru. În general, o măsurare mai complicată se efectuează de mai multe persoane, o singură persoană neputînd citi, de obicei, decît indicațiile unui singur aparat.

Efectuarea unei măsurări trebuie începută numai după ce există convingerea că montajul este bine realizat și că fiecare știe ce are de făcut. Citirea indicațiilor aparatelor se face simultan de către toți operatorii, la un semnal convenit al celui care conduce lucrarea.

Pentru uzinele electrice sau pentru stațiile de transformare etc., în care măsurările se fac pentru controlul bunului mers al instalațiilor, aparatele de măsurat au fost prevăzute și instalate — la locul lor — o dată cu construirea uzinei. La aceste măsurări operatorul nu trebuie să se ocupe nici de schema de montaj, nici de ordinul de mărime al mărimilor care se măsoară și nici de alegerea aparatelor : toate au fost prevăzute de la început. În acest caz, toată atenția operatorului se concentrează asupra înregistrării indicațiilor aparatelor care i-au fost încredințate.

4. Pentru efectuarea unei măsurări nu se face numai o singură determinare, ci două sau mai multe citiri, rezultatul final fiind valoarea lor medie. Se procedează astfel spre a se evita, pe cît este cu putință, greșelile care s-ar putea ivi, din diferite cauze, în timpul măsurărilor. De exemplu, fie de măsurat — cu un voltmetru — o tensiune ; să presupunem că valoarea adevărată a acestei tensiuni este de 120 V. Se efectuează 4 citiri care dau rezultatele :

Citirea I	120,5 V ;
Citirea II	119,8 V ;
Citirea III	119,5 V ;
Citirea IV	120,3 V.

Dacă ne-am fi oprit la prima citire, am fi greșit cu 0,5 V în plus. Dacă facem media primelor două citiri obținem :

$$U=\frac{120,5+119,8}{2}=120,15\ \text{V}\ ;$$

în acest caz am greșit cu 0,15 V în plus, deci greșeala făcută este mai mică decît în primul caz.

Dacă luăm media primelor trei citiri, obținem :

$$U=\frac{120,5+119,8+119,5}{3}=119,93\ \text{V}$$

greșeala fiind în acest caz cu 0,07 V în minus, evident mai mică decît precedentele.

Dacă efectuăm media tuturor celor patru măsurări, obținem :

$$U=\frac{120,5+119,8+119,5+120,3}{4}=120,025\ \text{V}.$$

Se observă că greșeala medie este mai mică decît greșelile făcute la citirile separate. *Pentru aceste motive, se face întotdeauna o serie întreagă de măsurări, luîndu-se media lor. Valoarea astfel obținută este mult mai apropiată de valoarea adevărată a mărimii măsurate.*

Greșelile în măsurări pot avea loc din două motive: 1) greșeli datorite aparatelor de măsurat sau folosirii unor metode nepotrivite pentru o anumită măsurătoare; 2) greșeli datorite operatorului. Primele greșeli se numesc *erori sistematice*. Acestea pot fi eliminate sau micșorate foarte mult prin folosirea unor aparate cît mai precise și a unor metode de măsurare cît mai potrivite. Se pot compensa prin *corecții* [1]).

Greșelile datorite operatorului se numesc *erori accidentale*. Acestea pot fi — și ele — eliminate, dacă personalul care face măsurările este bine instruit și lucrează conștiincios.

Rezultă că, pentru efectuarea unor măsurări cît mai precise, sînt necesare aparate bune și bine întreținute, cum și un personal cît mai bine instruit.

5. Rezultatele măsurărilor se înscriu în tabele special întocmite pentru măsurarea respectivă. Din aceste tabele nu trebuie să lipsească niciodată data și temperatura la care s-a făcut măsurarea. Dacă aparatele de măsurat au o constantă [2]), în rubrica măsurării mărimii respective vor fi înscrise atît indicațiile aparatului în diviziuni, cît și valoarea adevărată a mărimii măsurate. De asemenea, se vor trece numerele de fabrică ale aparatelor folosite și corecția făcută, pentru ca — în cazul cînd este necesară repetarea măsurării — să fie reproduse condițiile în care s-a făcut măsurarea.

Dacă pentru obținerea rezultatului urmărit sînt necesare anumite calcule, este bine ca aceste calcule să fie efectuate pe măsură ce se fac citirile indicațiilor, în scopul de a se observa imediat greșelile accidentale. De exemplu: dacă se măsoară cu voltmetrul și cu ampermetrul puterea absorbită de un motor de curent continuu, pentru a determina puterea căutată va trebui să efectuăm produsul dintre valorile corespunzătoare indicațiilor acestor aparate, deoarece:

$$P = U \times I.$$

Pentru înțelegerea celor de mai sus, în fig. 58 este reprezentată o foaie de citire, în care se concretizează datele obținute într-o măsurare a puterii unui motor de curent continuu.

---

[1]) V. cap. IV.

[2]) V. subcap. B, p. 62.

MĂSURAREA PUTERII ABSORBITE

de Motorul nr. 22 356 989, 8,8 kW, 220 V, curent continuu

Data 27. III. 1962 T=28 °C

Timpul		Curentul absorbit		Tensiunea la borne		Puterea absorbită		Observații
h	m	div	amperi	div	volți	wați	kW	
9	00	80,00	40,00	110,10	220,20	8808,0	8,808	1° constanta ampermetrului C_A=0,5 2° constanta voltmetrului C_V=2 3° puterea medie s-a calculat cu ajutorul mediilor curentului și tensiunii
9	30	80,25	40,13	110,00	220,00	8828,6	8,828	
10	00	79,50	39,75	110,50	221,00	8784,7	8,784	
10	30	81,00	40,50	109,25	218,50	8849,3	8,849	
11	00	80,50	40,25	109,70	219,50	8834,9	8,834	
Sume			200,63		1099,20	—	—	
Medii			40,12		219,85	8820,4	8,82	

Fig. 58. Exemplu de foaie de citire, cuprinzînd datele obținute la efectuarea unor măsurări.

Pentru efectuarea acestei măsurări, au fost necesari doi operatori, care au citit simultan indicațiile aparatelor, la comanda unuia dintre ei.

B. Constantele aparatelor

1. Constanta unui aparat este numărul cu care trebuie înmulțite indicațiile lui, exprimate în diviziuni, pentru a se obține valoarea mărimii care se măsoară.

Pentru aparatele la care intervalul dintre două diviziuni consecutive corespunde aceleiași valori a mărimii de măsurat, constanta aparatului poate fi determinată împărțindu-se valoarea nominală a aparatului la numărul total de diviziuni.

Fie, de exemplu, un wattmetru cu puterea nominală de 600 W (pentru 5 A și 120 V), care are trasate pe scară 120 diviziuni ; valoarea nominală a mărimii care se măsoară — puterea — este

$$P[\mathrm{W}]=600[\mathrm{W}]=5[\mathrm{A}]\cdot 120[\mathrm{V}].$$

Constanta wattmetrului C_w este :

$$C_w=\frac{P}{n_a}=\frac{600}{120}=5,$$

în care $n_a=120$ este numărul de diviziuni.

Pentru efectuarea unor măsurări în domeniul curenților intenși și al tensiunilor înalte se folosesc aparate obișnuite, legate în circuit prin intermediul transformatoarelor de măsură.

În acest caz, pentru determinarea valorilor reale ale mărimilor care se măsoară, se înmulțește numărul de diviziuni arătate de acul indicator cu constanta aparatului de măsurat și cu raportul de transformare al transformatorului de măsură.

Exemplul 1. La măsurarea unui curent mare, cu un ampermetru de 5 A, avînd zece diviziuni pe scară și legat în circuit prin intermediul unui transformator de curent — avînd raportul de transformare (raportul dintre curentul primar și cel secundar) 750/5, — acul indicator al ampermetrului se oprește în dreptul diviziunii a cincea. Valoarea curentului din circuitul primar se determină astfel :

Constanta ampermetrului este

$$C_a=\frac{I_{nom}}{n_a}=\frac{5}{10}=0{,}5.$$

Dacă α_l este indicația ampermetrului, valoarea curentului din înfășurarea secundară este

$$I_s=C_a\alpha_l=0{,}5\times 5=2{,}5\text{ A},$$

iar curentul primar este

$$I_p = I_s k_I = C_a \alpha_i k_I = 0{,}5 \times 5 \times \frac{750}{5} = 375 \text{ A},$$

în care k_I este raportul de transformare al transformatorului.

Constanta instalației alcătuite din acest ampermetru și din transformatorul de curent este egală cu produsul dintre constanta ampermetrului și raportul de transformare al transformatorului:

$$C_{inst} = C_a k_I = 0{,}5 \times \frac{750}{5} = 75.$$

Deci, unei diviziuni a ampermetrului îi corespund — în circuitul primar — 75 A.

Cînd aparatul este prevăzut să funcționeze permanent cu același transformator de măsură, se obișnuiește în practică a se denumi (impropriu) această constantă a instalației — *constanta aparatului* — iar constanta propriu-zisă a aparatului de măsurat — *constanta proprie a aparatului.*

Exemplul 2. Acul indicator al unui voltmetru cu tensiunea nominală de 150 V și cu 150 diviziuni pe scară, legat în circuit prin intermediul unui transformator de tensiune cu raportul dintre tensiunea primară și cea secundară $k_u = \frac{55\,000}{110}$, arată 90 de diviziuni.

Constanta voltmetrului este

$$C_v = \frac{U_{nom}}{n_\alpha} = \frac{150}{150} = 1.$$

Tensiunea la bornele înfășurării secundare este:

$$U_s = C_v \alpha_i = 1 \times 90 = 90 \text{ V}.$$

Constanta instalației este

$$C_{inst} = C_v k_u = 1 \times \frac{55\,000}{110} = 500.$$

Tensiunea la bornele înfășurării primare este

$$U_p = C_{inst}\, \alpha_i = 90 \times \frac{55\,000}{110} = 45\,000 \text{ V}.$$

Exemplul 3. Puterea consumată de un receptor se măsoară cu un wattmetru legat în circuit prin intermediul unor transformatoare de măsură: bobina de curent, printr-un transformator de curent avînd $k_I = 1000/5$, iar bobina de tensiune, printr-un transformator de tensiune avînd $k_u = 60\,000/100$.

Pentru a determina valoarea constantei grupului de măsurat trebuie să ținem seamă de faptul că bobina de curent a wattmetrului este legată prin intermediul transformatorului de curent avînd raportul de transformare 1000/5 (deci curentul din înfășurarea primară este $I_p = I_s k_I$), iar bobina de tensiune, prin intermediul transformatorului de tensiune cu $k_u = 60\,000/100$ (deci tensiunea aplicată înfășurării primare este $U_p = U_s k_u$).

Puterea măsurată din circuitul primar este, deci :

$$P_p = U_p I_p = U_s k_u I_s k_I = U_s I_s k_u k_I .$$

Wattmetrul măsoară puterea din înfășurările secundare ale transformatoarelor :

$$P_s = U_s I_s = C_w \alpha_w.$$

Deci :

$$P_p = P_s k_u k_I = C_w \alpha_w k_u k_I .$$

Constanta grupului de măsurat este :

$$C = C_w k_u k_I .$$

Deci, puterea măsurată are valoarea :

$$P_p = C\alpha_w = C_w k_u k_I \alpha_w .$$

Dacă :

$$\alpha_w = 90 \text{ div, iar } C_w = 5 \frac{\text{W}}{\text{div}}.$$

$$P_s = 5 \times 90 = 450 \text{ W}.$$

Puterea reală din circuitul primar este :

$$P_p = P_s k_u k_I = C_w k_u k_I \alpha_w = C \cdot \alpha_w .$$

Numeric :

$$P_p = P_s k_u k_I = 450 \times \frac{1000}{5} \times \frac{60\,000}{100} = 54\,000\,000 \text{ W}$$

sau

$$P_p = C\alpha_w = 5 \frac{1000}{5} \times \frac{60\,000}{100} \times 90 = 54\,000\,000 \text{ W},$$

iar

$$C = 600\,000.$$

2. Pentru un contor electric, constanta poate fi definită în două moduri :

a) numărul de wattore măsurate la o învîrtitură a discului ;

b) numărul de învîrtituri ale discului care corespund unei wattore.

Din aceste două moduri de definire a constantei unui contor, cel mai răspîndit este cel de-al doilea și este dat *sub forma numărului de învîrtituri ale discului care corespund unei energii înregistrate de* 1 kWh. Dacă se notează cu PT, în Ws (wattsecunde), energia măsurată prin N rotații ale discului, atunci constanta unui contor este dată de relația

$$K = \frac{3600 \cdot 1000\, N}{PT};$$

în această relație P este exprimat în wați și T în secunde.

Constanta K a unui contor este întotdeauna scrisă pe cadranul contorului și servește la etalonarea lui.

Pentru a avea valoarea unei energii consumate (sau produse) într-un anumit interval de timp, se face citirea indexului contorului [1]) la începutul și la sfîrșitul intervalului de timp considerat; diferența dintre cele două valori citite dă valoarea căutată a energiei. Astfel, dacă la începutul intervalului indexul contorului era 11 373,1 și la sfîrșitul intervalului indexul contorului arăta 12 943,7, atunci energia consumată (produsă) în intervalul de timp considerat este

$$W = 12\,943{,}7 - 11\,373{,}1 = 1570{,}6 \text{ kWh}.$$

În cazul cînd un contor este legat la rețea prin intermediul transformatoarelor de măsură, pentru a avea exact valoarea energiei din circuitul primar, se va înmulți indicația contorului cu produsul rapoartelor de transformare ale transformatoarelor de măsură.

Astfel, dacă presupunem că măsurătoarea energiei, indicată în exemplul de mai sus, s-a făcut printr-un grup de transformatoare de măsură analog cu cel folosit în exemplul 3 de mai înainte, energia măsurată va fi în acest caz

$$W_p = \frac{1000}{5} \times \frac{60\,000}{5} \times 1570{,}6 = 18\,847\,720 \text{ kWh} = 18\,847{,}72 \text{ MWh}.$$

[1]) Cifra indicată de mecanismul de înregistrare se numește indexul contorului.

CAPITOLUL IV

ETALONAREA APARATELOR ELECTRICE DE MĂSURAT UZUALE

Verificarea unui aparat de măsurat pentru a se stabili exactitatea cu care măsoară (menţinerea în clasa de precizie) şi pentru a i se determina erorile se numeşte *etalonare.*

Un aparat poate fi etalonat în două moduri :

1) Prin comparaţie cu un alt aparat de mare precizie — numit aparat etalon — ale cărui erori sînt cunoscute. Aceasta este o metodă relativă.

2) Prin metoda potenţiometrică sau absolută. Aceasta este o metodă foarte precisă şi nu se foloseşte decît în laboratoare, pentru etalonarea aparatelor de mare precizie.

A. Etalonarea prin comparaţie

1. **Etalonarea ampermetrelor.** Pentru a etalona un ampermetru, se formează un circuit în care ampermetrul care trebuie etalonat se leagă în serie cu ampermetrul etalon (fig. 59). Se „încarcă" circuitul, adică se face ca prin circuit să circule curenţi de diferite intensităţi. În general, valorile acestor curenţi se aleg astfel, încît indicaţiile ampermetrului de etalonat să corespundă exact cu diviziunile principale trasate pe scara acestui aparat ; apoi se citesc indicaţiile aparatului etalon. Rezultatele obţinute se înscriu pe un formular anume liniat, numit foaie de etalonare (fig. 60). Pe această foaie se efectuează, apoi, calculele pentru determinarea erorilor aparatului. În coloana 1 se scrie numărul curent al încercării. În coloanele 2 şi 3 se scriu indicaţiile ampermetrului de etalonat. În

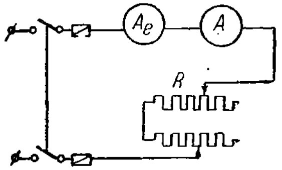


Fig. 59. Schema de etalonare prin comparaţie a unui ampermetru :

R — reostat ; A_e — ampermetru etalon.

FOAIE DE ETALONARE Nr. . . .

Ampermetrul Nr. . . Fabricat . .
Trimis de . . . . data .
Fișa Nr. . . . dosar nr. . . . .

Nr. curent	Indicațiile aparatului				Diferențe col. 3—col. 5 amperi	Eroare relativă ε % $\frac{\text{col. } 6}{\text{col. } 5} \times 100$	Observații
	de etalonat		etalon				
	div.	amperi	div.	amperi			
1	2	3	4	5	6	7	8

Lucrat de . .

Fig. 60. Exemplu de foaie de etalonare.

coloana 2 se scriu diviziunile, deoarece este posibil ca un ampermetru să aibă scara divizată în valorile reale ale curenților pe care îi măsoară, deși aparatul funcționează cu transformator de curent. De exemplu : un ampermetru care lucrează cu un transformator de curent avînd raportul de 250/5 poate avea scara divizată astfel :

0 ; 50 ; 100 ; 150 ; 200 ; 250.

De fapt, cînd ampermetrul indică 250 A, prin înfășurarea sa nu trec decît 5 A. În consecință, în coloana 2 se vor trece diviziunile 50, 100, 150 etc., iar în coloana 3 se va trece curentul real care trece prin ampermetru și care este măsurat cu aparatul etalon și anume 1, 2, 3 A etc. Se poate întîlni și altă situație: un aparat are scara divizată în 100 de părți, fără alte indicații ; funcționînd pe diferite șunturi, acest aparat va avea diviziunea maximă corespunzătoare șuntului respectiv. Astfel, pentru un șunt de 5 A, 100 diviziuni vor corespunde la 5 A ; pentru un șunt de 10 A, 100 diviziuni vor corespunde la 10 A etc. În coloana 2 se vor scrie, deci, diviziunile citite pe aparat, iar în coloana 3 — curentul real care trece prin aparat sau pe care îl măsoară aparatul. Situația este analogă și în cazul folosirii unui aparat cu diferite transformatoare de curent.

În coloanele 4 și 5 se trec aceleași indicații — și în aceleași condiții ca în cazul precedent — însă pentru aparatul etalon.

În coloana 6 se trec diferențele absolute dintre valoarea măsurată V_m cu aparatul de etalonat (coloana 3) și valoarea reală a curentului V_a măsurată cu aparatul etalon (coloana 5). Se obține, astfel, abaterea sau *eroarea absolută* a aparatului de etalonat.

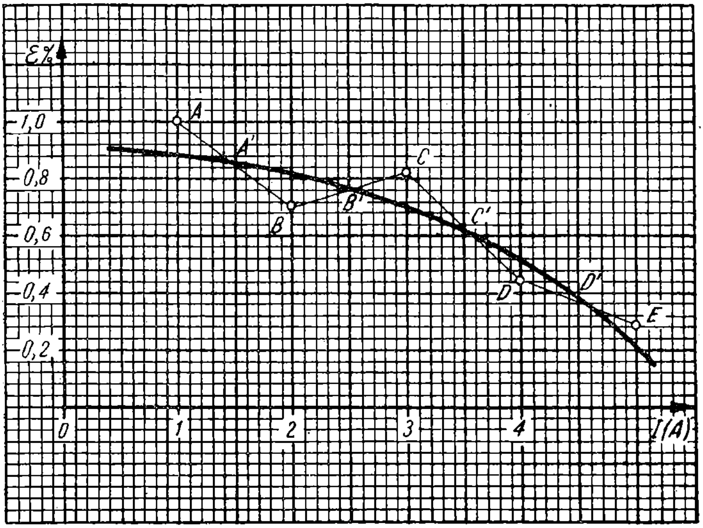


Fig. 61. Curba erorilor relative ale unui ampermetru.

În coloana 7 se trec valorile erorii relative a aparatului. *Eroarea relativă* este egală cu raportul dintre eroarea absolută a aparatului și valoarea adevărată a mărimii măsurate V_a. Pentru a obține valoarea acestui raport în procente, se înmulțește fracția cu 100. Deci, eroarea relativă $\varepsilon\%$ a unui aparat este dată de relația :

$$\varepsilon\% \doteq 100 \frac{V_m - V_a}{V_a}.$$

Cu valorile erorilor astfel obținute se construiește curba erorilor (fig. 61). Într-un sistem de axe de coordonate dreptunghiulare, pe abscisă se trec indicațiile aparatului de etalonat, iar pe ordonată — erorile relative, în %, ale aparatului.

Prin unirea punctelor obținute din determinare *A, B, C, D, E* nu se obține, în general, o curbă, ci o linie frîntă. Curba de etalonare va reprezenta în fiecare punct o valoare medie a valorilor corespunzătoare punctelor determinate pe cale experi-

mentală. Pentru a construi această curbă medie se procedează în modul următor: se unesc punctele determinate, obținîndu-se linia frîntă *ABCDE*; se unesc între ele mijloacele segmentelor *AB, BC, CD* și *DE,* obținîndu-se o nouă linie frîntă. Dacă această linie frîntă are alura unei curbe continue, se trasează o curbă apropiată de această linie; dacă nu, se continuă operația pînă ce se obține rezultatul urmărit mai sus. Curba astfel obținută este o curbă medie și este cea mai apropiată de adevărata curbă a erorilor.

Din curba erorilor astfel obținută, se scot valorile adevărate ale erorilor, cu ajutorul cărora se calculează corecțiile. *Corecția este valoarea, în unități ale mărimii care se măsoară, care trebuie scăzută sau adăugată indicației aparatului etalonat pentru a obține adevărata valoare a mărimii măsurate.*

Pentru a lămuri cele de mai sus, să luăm un exemplu. Fie de etalonat un ampermetru care lucrează cu un transformator de curent avînd raportul de 250/5 A. Ampermetrul are trasate pe scară valorile curenților primari pe care îi măsoară, adică:

0 50 100 150 200 250.

Raportul de transformare al transformatorului de curent fiind 250/5=50, pentru a obține indicațiile de mai sus, prin aparat vor trece curenți de 0 1 2 3 4 5 A
pentru diviziunile 0 50 100 150 200 250.

FOAIE DE ETALONARE Nr. 15

Ampermetrul Nr. 123 551 Fabricat . . . .
Trimis de . . . Data 22 ianuarie 1962
Fișa nr. 153 Dosar nr. 18

Nr. curent	Indicațiile aparatului				Diferențe col. 3 — col. 5	Eroarea relativă ε% $\frac{\text{col. 6}}{\text{col. 5}} \times 100$	Observații
	de etalonat		etalon				
	Div.	A	Div.	A			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	50	1	—	0,99	0,01	1	
2	100	2	—	1,986	0,014	0,7	
3	150	3	—	2,978	0,022	0,82	
4	200	4	—	3,988	0,012	0,44	
5	250	5	—	4,99	0,01	0,28	

Lucrat de:

Fig. 62. Foaia de etalonare (prin comparație) a unui ampermetru.

Se efectuează legăturile indicate în fig. 56 și se folosește, pentru etalonare, un aparat de mare precizie avînd scara pentru

10 A, utilizîndu-l la sensibilitatea de 5 A. Se întocmește foaia de etalonare, așa cum s-a arătat mai sus, calculîndu-se toate datele înscrise în ea (fig. 62). Cu valorile obținute pentru erori se construiește curba erorilor (fig. 61). Din această curbă se determină valorile probabile ale erorilor :

La diviziunea	Eroarea relativă ε%
50	+0,84
100	+0,82
150	+0,7
200	+0,52
250	+0,2

Calculăm apoi corecțiile. Corecția este diferența dintre valoarea reală a mărimii de măsurat v_a și indicația aparatului v_m; deci eroarea absolută a măsurării cu semn schimbat.

Cunoscînd eroarea relativă ε% se pot determina corecțiile C înmulțind eroarea relativă (în procente) cu raportul dintre valoarea reală a mărimii măsurate v_a și numărul 100.

$$C = -\left(\varepsilon\,\% \frac{v_a}{100}\right).$$

Clasa de precizie a aparatului se verifică prin cunoașterea erorii relative raportate la limita superioară de măsurare a aparatului (v_{nom}).

$$\varepsilon_{rap}\% = 100\,\frac{v_m - v_a}{v_{nom}}.$$

Eroarea relativă raportată nu trebuie să depășească eroarea admisibilă pentru clasa de precizie a aparatului.

În exemplul dat, eroarea fiind pozitivă (aparatul indică o valoare mai mare decît cea reală), corecția va trebui să aibă semnul minus, pentru a fi scăzută din indicația aparatului. Deci, pentru exemplul considerat, la div. 50 corecția va fi :

$$C = -0{,}01\ \text{A}.$$

Calculînd pentru fiecare punct în parte, obținem valorile tuturor corecțiilor, care se înscriu în *buletinul de etalonare* (fig. 63) ce se anexează la aparatul etalonat.

Regulă generală. Eroarea și corecția au totdeauna semne contrare: dacă eroarea este pozitivă, corecția este negativă și invers.

Cunoscînd corecțiile care trebuie făcute asupra indicațiilor unui aparat, le vom aplica la efectuarea unei măsurări ale cărei rezultate trebuie cunoscute cu precizie. Dacă, de exemplu, vrem să știm cu aproximație ce curent circulă printr-un anumit circuit,

atunci ne mulțumim cu indicațiile aparatului, fără a face nici un fel de corecție ; dacă însă trebuie să cunoaștem cu precizie acest curent, atunci facem corecția corespunzătoare.

BULETIN DE ETALONARE Nr. . .

pentru aparatul nr. 123 551
felul aparatului : ampermetru
fabricat : Electromagnetica

Diviziuni aparat A	Eroarea %	Corecții A	Observații
50	1	0,01	Etalonarea s-a făcut prin comparatie cu aparatul nr. 1 632 215
100	0,7	−0,014	
150	0,82	−0,022	
200	0,44	−0,012	
250	0,28	−0,01	

Inginer,

Data 4 octombrie 1961

Fig. 63. Buletin de etalonare.

Observație. Aparatele electromagnetice se etalonează în curent continuu atît pentru valorile crescătoare ale curentului, cît și pentru cele descrescătoare și se ia media rezultatelor, pentru a se înlătura influența fenomenului de histerezis.

Se va observa ca variația curentului să aibă loc totdeauna în același sens.

2. **Etalonarea voltmetrelor.** Pentru a se etalona un voltmetru se poate proceda în două moduri :

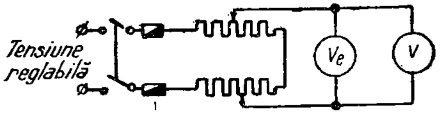


Fig. 64. Etalonarea prin comparație a unui voltmetru, alimentat de la o sursă cu tensiune variabilă.

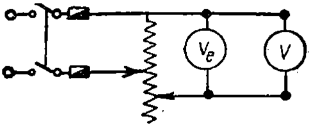


Fig. 65. Etalonarea prin comparație a unui voltmetru, de la o sursă de tensiune constantă — printr-un potențiometru.

— Dacă dispunem de o sursă cu tensiune variabilă, legăm la bornele acestei surse atît voltmetrul de etalonat, cît și voltmetrul etalon (fig. 64).

— Dacă dispunem de o sursă cu tensiune constantă, legăm la bornele acestei surse un potențiometru (fig. 65) și luăm de pe acest potențiometru tensiunile necesare. Un potențiometru este un

montaj alcătuit dintr-o rezistență capabilă să suporte întreaga tensiune a unei surse și de pe care se poate lua, după necesitate, orice diferență de potențial între zero și tensiunea sursei de alimentare.

Orice montaj s-ar folosi, etalonarea voltmetrului se face în același mod : se variază tensiunea la bornele sursei și se citesc indicațiile voltmetrului de etalonat și ale voltmetrului etalon. Etalonarea voltmetrului continuă apoi ca și etalonarea ampermetrului : se întocmește foaia de etalonare, se calculează erorile, se construiește curba de erori, se deduc și se calculează corecțiile absolute. Se verifică dacă aparatul se menține în limitele clasei de precizie pentru care a fost construit, calculînd *eroarea relativă raportată* și comparînd rezultatele cu erorile admisibile pentru clasa de precizie respectivă.

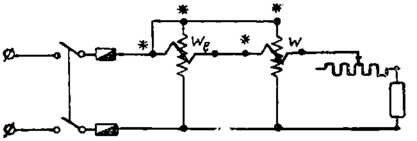


Fig. 66. Etalonarea unui wattmetru, alimentat de la o singură sursă, prin compararea cu un wattmetru etalon.

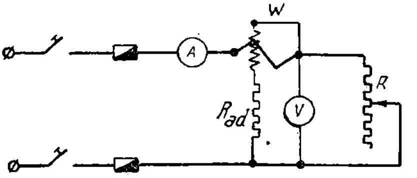


Fig. 67. Etalonarea unui wattmetru, alimentat de la o singură sursă, prin compararea cu indicațiile unui ampermetru și ale unui voltmetru :

R — rezistență reglabilă.

3. **Etalonarea wattmetrelor.** Un wattmetru poate fi etalonat în două moduri :

— folosindu-se o singură sursă de alimentare (direct);

— prin alimentarea de la surse separate.

De asemenea, din punctul de vedere al aparatelor cu care se compară indicațiile wattmetrului de etalonat, deosebim două moduri de etalonare :

— compararea cu un wattmetru etalon ;

— compararea indicațiilor wattmetrului cu indicațiile unui ampermetru și ale unui voltmetru.

Pentru etalonarea cu alimentarea de la o singură sursă a unui wattmetru — prin compararea cu un wattmetru etalon se fac legăturile reprezentate în fig. 66. Valoarea curentului se variază cu ajutorul reostatului de încărcare, căutînd a menține constantă tensiunea la bornele sursei de alimentare.

Ținîndu-se seamă de faptul că un wattmetru electrodinamic poate fi folosit atît în curent continuu, cît și în curent alternativ,

cum și de faptul că scara sa are diviziuni proporționale, el poate fi etalonat atît în curent continuu cît și în curent alternativ.

Pentru etalonarea unui wattmetru cu alimentarea de la o singură sursă, dar prin comparare cu indicațiile unui ampermetru și ale unui voltmetru, se fac legăturile indicate în fig. 67. Se procedează, apoi, ca în cazul precedent, luînd aceleași măsuri de precauție.

Această metodă de etalonare nu este posibilă decît în curent continuu.

Etalonarea wattmetrelor de putere mare, cu alimentare de la o singură sursă, ar fi greu de realizat, din cauza puterii mari, absorbite în reostatul de încărcare R și care trebuie să fie egală cu puterea maximă pe care o măsoară aparatul. *Aceste aparate se etalonează cu alimentarea de la surse separate.* Această metodă constă în a se alimenta bobinele de curent de la o sursă capabilă să furnizeze curentul necesar, dar avînd tensiunea redusă ; bobinele de tensiune se alimentează de la o sursă cu tensiunea cel puțin egală cu tensiunea nominală a aparatului, dar care debitează un curent redus (fig. 68 și 69). Etalonarea se face variindu-se valorile curentului și menținîndu-se tensiunea constantă. În general, drept surse de curent se folosesc baterii de acumulatoare sau, mai ales, grupuri generatoare prevăzute cu aparate de reglaj.

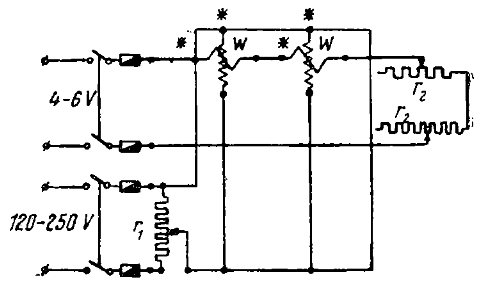


Fig. 68. Etalonarea unui wattmetru, cu alimentare de la surse separate, prin compararea cu indicațiile unui wattmetru etalon.

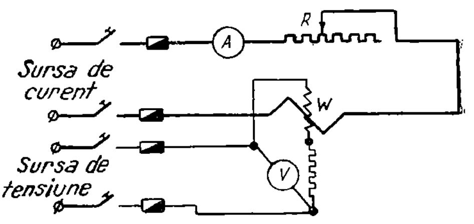


Fig. 69. Etalonarea unui wattmetru, cu alimentare de la surse separate, prin compararea cu indicațiile unui ampermetru și ale unui voltmetru :

R – reostat.

Oricare ar fi metoda folosită pentru etalonarea unui wattmetru, în ce privește determinarea erorilor și a corecțiilor se procedează ca și în cazul ampermetrului. Observăm că, în cazul etalonării wattmetrului prin comparare cu indicațiile unui amper-

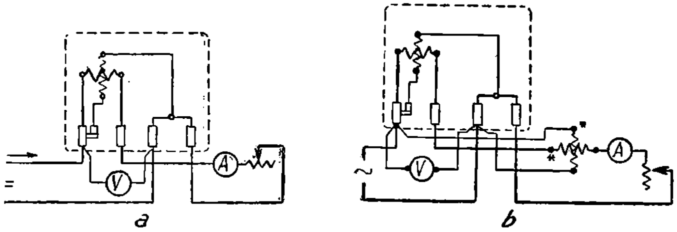


Fig. 70. Etalonarea unui contor cu alimentarea de la o singură sursă:

a – contor de curent continuu ; b – contor monofazat.

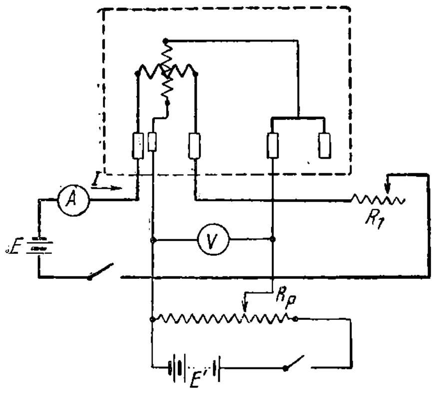


Fig. 71. Etalonarea unui contor cu alimentarea de la surse separate:

R_p – reostat în circuitul de tensiune ; R_1 – reostat în circuitul de curent.

metru și ale unui voltmetru, va trebui ca pe foaia de etalonare să fie prevăzute coloanele corespunzătoare citirilor indicațiilor acestor aparate și produsului calculat UI [1]).

4. **Etalonarea contoarelor.** Contoarele se etalonează, în general, în laboratoare.

Pentru etalonarea contoarelor se aplică metodele folosite pentru etalonarea wattmetrelor : etalonarea cu alimentarea de la o singură sursă sau de la surse separate. Etalonarea se face măsurîndu-se puterea absorbită din rețea și timpul în care se absoarbe această putere, iar rezultatele se compară cu indicațiile contorului.

În curent continuu, puterea absorbită poate fi măsurată prin metoda ampermetrului și a voltmetrului sau cu un wattmetru. Pentru măsurarea puterii în curent alternativ se folosește wattmetrul. Timpul se măsoară cu un cronometru.

Pentru etalonare se fac legăturile indicate în fig. 70 (etalonare cu alimentarea de la o singură sursă) sau în fig. 71 (etalonarea cu alimentarea de la surse separate).

Etalonarea se face în modul următor.

Se menține tensiunea constantă și se fixează un anumit curent sau o anumită putere. Se numără apoi cîte rotații face discul într-un anumit timp sau, ceea ce este același lucru, se verifică în cît timp face discul un anumit număr de rotații. Pe placa contorului se citește constanta controlului și, cu ajutorul ei, se calculează puterea absorbită în unitatea de timp (cea măsurată de contor). Se determină, apoi, eroarea lui. Pentru a ne da mai bine seama de modul cum se procedează, vom da un exemplu :

Fie un contor cu constanta

$$K=6000 \text{ rotații/ kWh.}$$

Îl încărcăm cu 500 W și numărăm 30 de rotații ale discului, în 35 s. Pentru a determina puterea măsurată de contor, facem următorul raționament :

Dacă 6000 rot în timp de 3600 s corespund la 1000 W, 30 rotații în timp de 35 s corespund la x W.

Rezolvînd, obținem :

$$x=1000\frac{30}{6000}\cdot\frac{3600}{35}=515 \text{ W.}$$

---

[1]) In cazul etalonărilor de foarte mare precizie, se ține seama și de consumațiile voltmetrului și a bobinei de tensiune a wattmetrului. De aceea, la etalonarea wattmetrelor se face totdeauna montajul aval (voltmetru după ampermetru), consumația unui voltmetru putînd fi determinată mai ușor.

Eroarea relativă a contorului se calculează cu formula cunoscută :

$$\varepsilon\,\% = 100\,\frac{P_m - P_a}{P_a} = 100\,\frac{515-500}{500} = 3\,\%.$$

În general, un contor se verifică numai pentru anumite încărcări și anume 1/10, 1/4, 1/2, 3/4 și 1/1 din sarcina nominală.

Contoarele de curent alternativ se verifică și la factori de putere diferiți, de obicei 0,5 și 1.

FOAIE DE ETALONARE Nr. 77

pentru contorul Nr. 359 888

Fabricat : Electromagnetica

5 A ; 110 volți : 6000 rot=1 kWh

Nr. curent	Tensiunea U	Curentul I	Puterea adevărată P_a W	Numărul de învîrtituri n	Timpul măsurat s	Puterea măsurată P_m W	Eroarea
1	110	0,2	22,0	3	80,5	22,36	+1 64
2	110	0,4	44,0	4	53,5	44,85	+1,96
3	110	0,65	71,5	7	57,5	73,04	+2,15
4	110	0,85	93,5	11	67,5	94,96	+1,56
5	110	1,00	110,0	10	53,5	112,14	+1,95
6	110	1,55	170,5	19	66,5	171,42	+0,54
7	110	2,00	220,0	19	51,5	221,36	+0,62
8	110	2,50	275,0	25	54,0	277,78	+1,01
9	110	3,00	330,0	30	54,5	330,28	+0,09
10	110	4,00	440,0	20	27,0	444,44	+1,01
11	110	5,00	550,0	30	33,0	545,46	−0,88
12	110	5,50	605,0	55	54,5	605,51	+0,08

Notă : Puterea măsurată s-a calculat cu relația

$$P_m = \frac{1000 \cdot 3600}{K} \cdot \frac{n}{t}$$

Concluzii : Eroarea contorului rămîne în limitele admisibile

Data 20 febr. 1962. *Verificator,*

Fig. 72. Foaia de etalonare a unui contor.

În fig. 72 este reprezentată foaia de etalonare a unui contor, iar în fig. 73 — curba de etalonare corespunzătoare.

În laboratoarele industriale, contoarele se etalonează, de obicei, în modul următor.

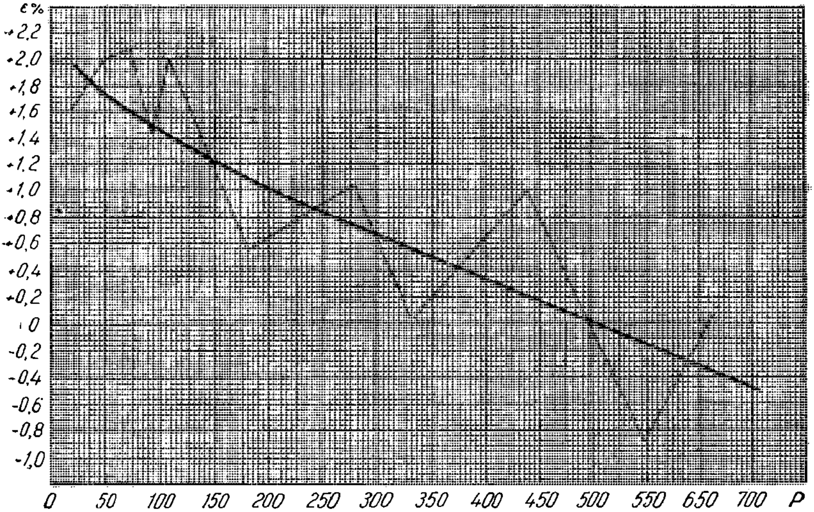


Fig. 73. Curba de etalonare a unui contor.

Se încarcă contorul cu o anumită sarcină P (în W) și se măsoară timpul t (în s), în care discul contorului efectuează n rotații. Eroarea relativă a contorului este dată de relația

$$\varepsilon\,\% = \frac{T-t}{t}\,100, \tag{1}$$

în care T este timpul de înregistrare dedus din constanta contorului.

Relația (1) se stabilește cu ușurință. În adevăr, expresia erorii relative este

$$\varepsilon\,\% = \frac{W_m - W_a}{W_a}\,100. \tag{2}$$

Energia măsurată este

$$W_m = P \cdot T.$$

Energia adevărată este

$$W_a = P \cdot t$$

Înlocuind aceste valori în relația (2), obținem relația (1).

Pentru determinarea timpului T, facem următorul raționament:

Dacă K rotații reprezintă 1000×3600 W,
n rotații vor reprezenta $P \cdot T$ (W).

Deducem imediat că

$$T = \frac{1000 \times 3600}{P} \cdot \frac{n}{K} \text{ (s)}.$$

Pentru calcule practice se întocmesc tabele cu dublă intrare, care dau direct — pentru diverse valori ale T și t — eroarea. Se mai folosesc și rigle de calcul speciale.

Contoarele trebuie verificate periodic de către un serviciu de control de stat. În R.P.R., acest control se efectuează de către Direcția de Metrologie. După regulile stabilite în R.P.R., eroarea maximă admisibilă a unui contor este de $\pm$ 4,5%.

De aceea, contoarele se verifică în mod periodic pentru ca ele să nu prezinte niciodată o eroare mai mare decît cea admisă.

Un contor se etalonează la locul unde este montat, în general, cu ajutorul unui contor etalon. Contorul etalon este un contor obișnuit, însă lucrat cu multă îngrijire și perfect etalonat, astfel încît erorile sale sînt cunoscute cu precizie. Se montează contorul în circuitul contorului de etalonat și se lasă un timp oarecare (2—3 zile), după care se compară indicațiile, deducîndu-se eroarea contorului care se etalonează.

Contorul etalon se folosește uneori și în laboratoarele de contoare, pentru verificarea în serie a acestora.

5. **Etalonarea wattmetrelor și contoarelor trifazate** [1]. Pentru etalonarea unui wattmetru industrial, bazat pe metoda celor 3 wattmetre sau pe metoda celor 2 wattmetre, wattmetrul se montează așa cum indică schema lui, iar indicațiile sale se compară cu indicațiile a trei sau a două wattmetre. În fig. 74 este reprezentată schema de montaj pentru etalonarea unui wattmetru trifazat, bazat pe metoda celor două wattmetre, prin comparare cu indicațiile a două wattmetre. Foaia de etalonare și buletinul respectiv se întocmesc ca în cazul general. Trebuie să avem grijă a trece în coloanele corespunzătoare cele două indicații ale wattmetrelor și suma lor.

Etalonarea contoarelor trifazate. Ca și pentru contoarele monofazate, etalonarea se face prin comparare cu indicațiile a trei sau a două wattmetre (fig. 75), calculul constantei, al puterii

[1]) Construcția wattmetrelor și contoarelor trifazate este dată în Cap. V.

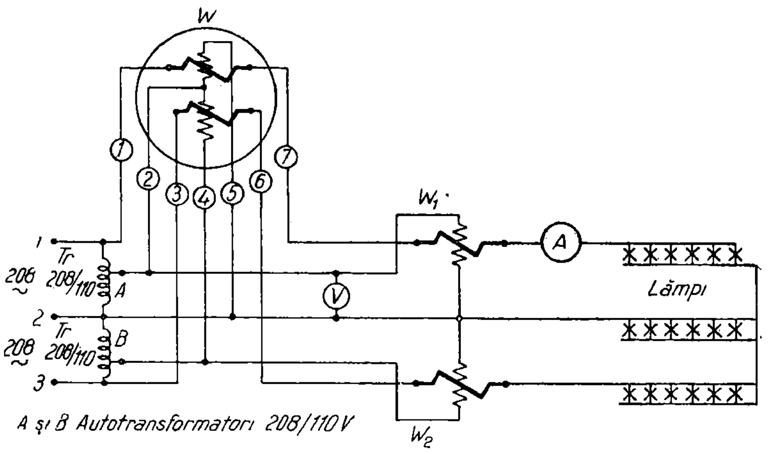


Fig. 74. Etalonarea unui wattmetru trifazat cu 2 echipaje mobile.

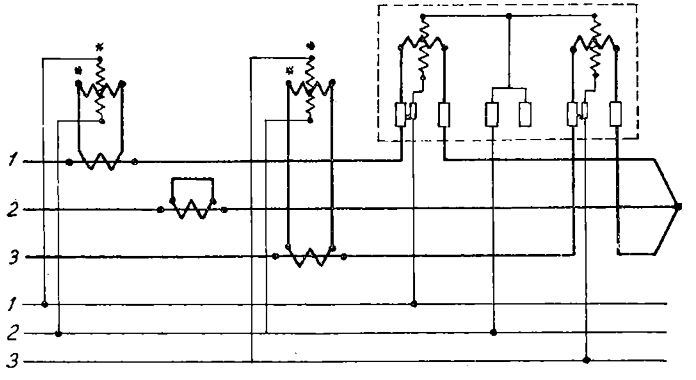


Fig. 75. Etalonarea unui contor trifazat cu două echipaje mobile.

măsurate etc. făcîndu-se la fel. Se folosește alimentarea de la surse separate.

6. **Indicații generale.** Pentru ca la etalonarea ampermetrelor, voltmetrelor sau wattmetrelor să se obțină rezultate bune trebuie să se dea o deosebită atenție alegerii aparatului etalon.

La alegere se ține seama de: 1) felul curentului; 2) valoarea nominală a mărimii măsurate de aparatul etalon; 3) clasa de precizie.

Natura curentului este determinată de sistemul aparatului care se etalonează; astfel, aparatele magnetoelectrice se pot etalona numai în curent continuu, cele de inducție numai în curent alternativ, pe cînd cele termoelectrice și electromagnetice se etalonează fie în curent alternativ fie în curent continuu, în funcție de particularitățile constructive.

Limita superioară de măsurare a aparatului etalon trebuie să fie egală sau apropiată de cea a aparatului de etalonat, iar clasa sa de precizie trebuie aleasă astfel încît eroarea relativă raportată maximă a sa să fie de cel puțin trei ori mai mică decît cea a aparatului care se etalonează.

B. Etalonarea prin metode potențiometrice

1. **Principiul metodei.** Metoda potențiometrică constă în a compara o tensiune necunoscută cu căderea de tensiune produsă de o rezistență cunoscută. În acest scop, se combină două circuite electrice astfel încît căderea de tensiune provocată într-unul din circuite compensează tensiunea la bornele celui de al doilea circuit; în acest caz, curentul care circulă prin al doilea circuit este nul. Principiul metodei este dat în fig. 76: bateria de acumulatoare E este legată la bornele rezistenței AB care trebuie să fie parcursă de un curent constant; al doilea circuit, format din tensiunea e (reprezentată în schemă printr-o pilă) și un galvanometru G, este legat cu o extremitate în punctul A și cu a doua extremitate, prin intermediul unui cursor, într-un punct C de pe rezistența AB. Deplasînd cursorul pînă cînd galvanometrul rămîne la poziția zero, prin circuitul cu

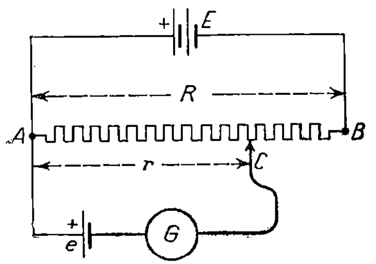


Fig. 76. Principiul metodei potențiometrice.

galvanometru nu mai trece nici un curent și deci tensiunea sa este egală cu căderea de tensiune din porțiunea de rezistență AC, de valoare r. În aceste condiții se poate scrie relația

$$e=ri.$$

Dar

$$i=\frac{E}{R}$$

și deci

$$e=\frac{r}{R}E \quad \text{sau} \quad \frac{e}{E}=\frac{r}{R},$$

adică raportul tensiunilor este egal cu raportul rezistențelor. Dacă e este o pilă etalon [1]), a cărei forță electromotoare este bine cunoscută, cu ajutorul acestui montaj se poate determina valoarea tensiunii E, rezistențele r și R fiind cunoscute.

Metoda potențiometrică este folosită pentru etalonarea de precizie a aparatelor de măsurat, voltmetre, ampermetre și wattmetre, precum și pentru măsurarea precisă a tensiunilor continui și forțelor electromotoare a surselor de curent continuu.

Montajul necesar efectuării acestor determinări poate fi realizat cu piese din laborator. Fabricile de aparate electrice de măsurat construiesc asemenea montaje în pupitre fixe sau în cutii portative; aceste instalații se numesc *compensatoare*. În fig. 77 este dată schema interioară, iar în fig. 78 se vede aspectul exterior al unui asemenea compensator.

2. **Etalonarea voltmetrelor.** Pentru etalonarea voltmetrelor se montează la bornele X ale compensatorului voltmetrul de etalonat V și o sursă de tensiune constantă E (o baterie de acumulatoare) în serie cu un reostat de reglaj (fig. 79). Tensiunea la bornele bateriei trebuie să fie mai mare decît indicația maximă a scării voltmetrului pentru a se putea etalona voltmetrul pe întreaga întindere a scării sale.

Compensatorul este construit pentru ca să poată compara tensiuni pînă la cca 10 V.

Dacă voltmetrul de etalonat este pentru tensiuni mai ridicate, tensiunea de la bornele voltmetrului este aplicată la compensator prin intermediul unui reductor de tensiune (fig. 80); reductorul de tensiune este alcătuit dintr-un potențiometru simplu numit *divizor de tensiune* (fig. 81).

Pentru etalonarea unui voltmetru se procedează în felul următor:

— Se *tarează* potențiometrul, adică se determină curentul constant i, ce trebuie să treacă prin rezistența totală a compen-

---

[1]) V. cap. IX A.

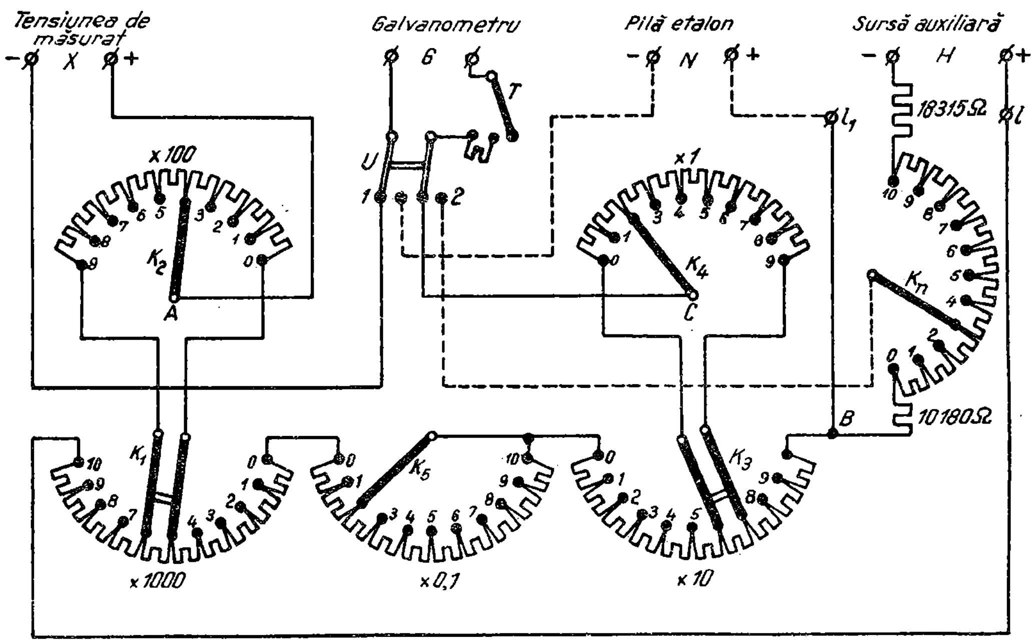


Fig. 77. Schema interioară a unui compensator.

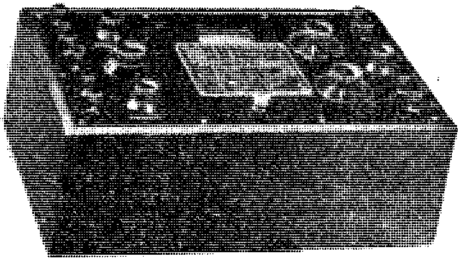


Fig. 78. Aspectul exterior al unui compensator.

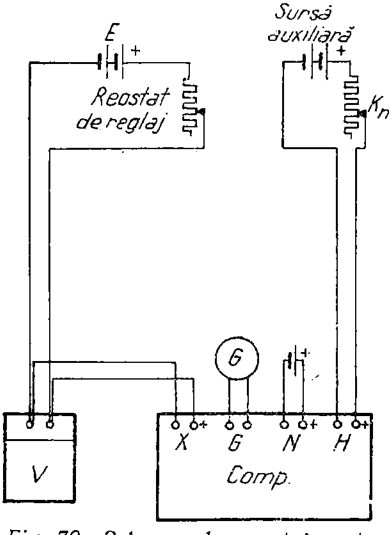


Fig. 79. Schema de montaj pentru etalonarea unui voltmetru.

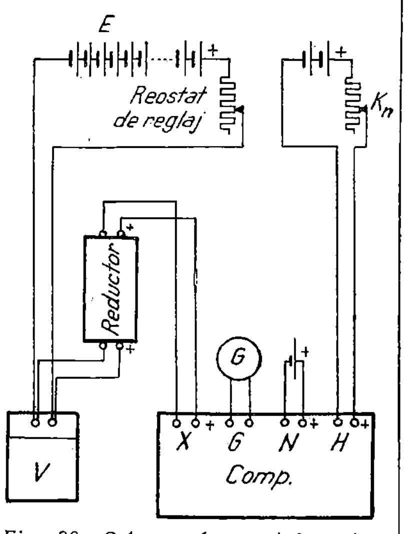


Fig. 80. Schema de montaj pentru etalonarea unui voltmetru de tensiune ridicată.

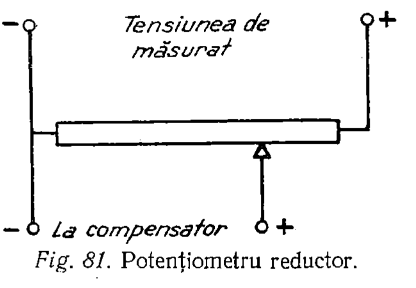


Fig. 81. Potențiometru reductor.

satorului. Pentru aceasta (fig. 77) se trece comutatorul U pe poziția *2* și se variază reostatul K_n pînă ce galvanometrul rămîne în poziția de zero. Se trece apoi comutatorul U pe poziția *1* și *nu se mai umblă* la comutatorul K_n, decît atunci cînd se face verificarea tarării. Rezistențele compensatorului sînt așa alese ca, după tarare, curentul i să fie egal cu 0,0001 A.

— Se etalonează voltmetrul fixîndu-se cu ajutorul reostatului de reglaj o tensiune care este *exact* indicată de voltmetru. Se măsoară apoi cu ajutorul compensatorului valoarea adevărată a acestei tensiuni. Pentru aceasta se variază reostatele $K_1 \ldots K_5$ pînă ce acul galvanometrului rămîne în poziția de zero. Dacă R este rezistența totală obținută, care se citește direct pe compensator, cum curentul i este cunoscut, valoarea tensiunii *adevărate* măsurată de voltmetru e dată de relația

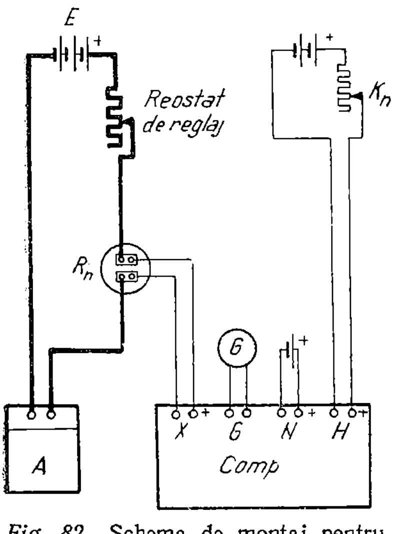


Fig. 82. Schema de montaj pentru etalonarea unui ampermetru.

$$u = Ri.$$

Pentru determinarea erorii, a curbei de erori și a corecțiilor, se procedează ca în cazul etalonării prin comparație, folosindu-se aceleași metode, formulare etc.

3. **Etalonarea ampermetrelor.** Pentru etalonarea ampermetrelor se formează un circuit în care se montează în serie cu ampermetrul de etalonat o sursă, un reostat de reglaj și o *rezistență etalon* [1]) R_n (fig. 82). Măsurînd tensiunea U_R la bornele rezistenței etalon cu ajutorul compensatorului, se deduce imediat valoarea *adevărată* a curentului din circuitul ampermetrului, folosind relația

$$I = \frac{U_R}{R_n}.$$

Comparînd acest curent cu indicația ampermetrului, se deduce eroarea aparatului.

Procedarea este aceeași ca pentru etalonarea voltmetrului.

[1]) V. cap. IX B 3.

4. **Etalonarea wattmetrelor.** Pentru etalonarea unui wattmetru este necesar să se facă, pentru fiecare deviație a acului wattmetrului, cîte *două* măsurători de compensare, una pentru circuitul ampermetric, cealaltă pentru circuitul voltmetric al watt-

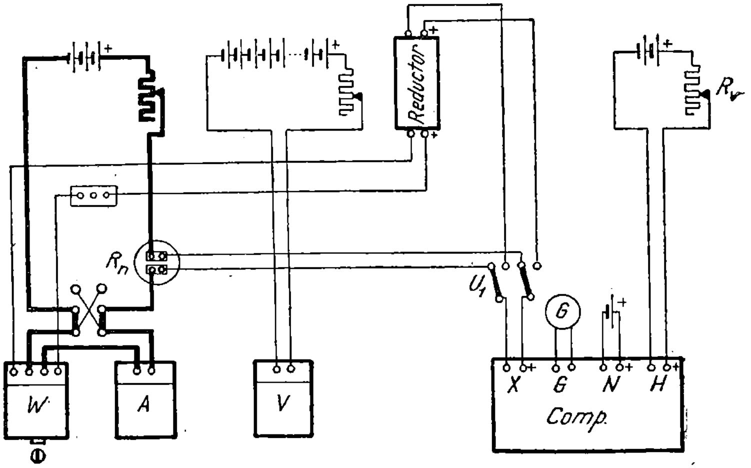


Fig. 83. Schema de montaj pentru etalonarea unui wattmetru.

metrului. Montajul utilizat este arătat în fig. 83. *Puterea adevărată* este egală cu produsul dintre *tensiunea adevărată* și *curentul adevărat* determinate cu ajutorul compensatorului. Celelalte operații de etalonare se fac ca și în metoda comparației.

5. **Observație generală.** Etalonarea de precizie a aparatelor de măsurat, numită *și etalonare absolută,* se face numai în laboratoare utilate în acest scop cu aparataj de mare tehnicitate și precizie. Prin această metodă se etalonează în general numai aparatele de măsurat care vor servi ca aparate de comparație la etalonarea industrială de aparate de măsurat prin metoda comparației.

Metoda potențiometrică expusă în acest capitol se utilizează numai în curent continuu.

CAPITOLUL V

MĂSURĂRI ÎN CURENT CONTINUU ŞI CURENT ALTERNATIV CU APARATE UZUALE. MĂSURĂRI ŞI APARATE DE MĂSURAT SPECIALE ÎN CURENT ALTERNATIV

1. **Măsurarea curenţilor şi a tensiunilor în circuitele de curent continuu şi alternativ.** În circuitele industriale de curent continuu şi curent alternativ, pentru măsurarea curenţilor se folosesc ampermetre, iar pentru măsurarea tensiunilor — voltmetre; aceste aparate se leagă în circuitele de măsurare după schemele date în capitolul II, ampermetrele în serie, iar voltmetrele în derivaţie — direct sau prin intermediul unor şunturi sau transformatoare de curent, respectiv rezistenţe adiţionale sau transformatoare de tensiune.

Pentru măsurări precise cele mai indicate aparate sînt: în curent continuu aparatele magnetoelectrice, iar în curent alternativ cele electrodinamice; în practică, la efectuarea măsurărilor obişnuite în reţelele de curent alternativ se utilizează, în general, aparate electromagnetice — care sînt mai ieftine şi mai robuste.

Este necesar să se ştie că, în circuitele de curent alternativ, ampermetrele şi voltmetrele descrise în capitolul II măsoară *valorile efective* ale curenţilor şi, respectiv, tensiunilor.

2. **Măsurarea puterii în circuitele de curent continuu şi a puterii active în circuitele de curent alternativ monofazat.** Puterea absorbită de un receptor sau produsă de un generator este definită, în curent continuu, de produsul între curentul total care circulă prin receptor sau este debitat de generator şi tensiunea de la bornele respective

$$P=UI.$$

Pentru măsurarea acestei mărimi cu aparate electrice se folosesc două metode:

1) metoda ampermetrului și voltmetrului ;

2) metoda wattmetrului.

În fig. 84 este dată schema de montaj pentru metoda voltmetrului și ampermetrului ; pentru aflarea puterii din circuit se face produsul între indicațiile date de aceste aparate.

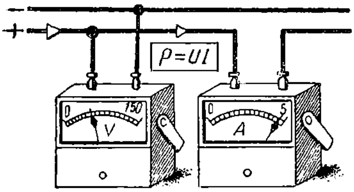


Fig. 84. Măsurarea puterii în curent continuu, prin metoda ampermetrului și voltmetrului.

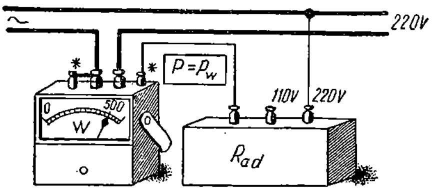


Fig. 85. Măsurarea puterii active într-un circuit monofazat, cu un wattmetru : R_{ad} – **rezistență adițională exterioară.**

Prin utilizarea unui wattmetru, legat conform schemei din fig. 85, se obține direct puterea din circuit, citind indicația de pe scara wattmetrului.

În curent alternativ, în general, tensiunea și curentul nu mai sînt în fază, ci sînt defazate cu un unghi φ, a cărui valoare depinde de receptoarele legate în circuit (rezistențe, bobine de inductanță, condensatoare).

De aceea, în curent alternativ se definesc următoarele puteri.

a) *Puterea aparentă*

$$S=UI.$$

b) *Puterea activă* (cea care ne interesează în măsurările obișnuite)

$$P=UI\cos\varphi$$

în care $\cos\varphi$ este un număr, care ține seama de defazajul dintre curent și tensiune și care a fost denumit *factor de putere* ; el are valori între 0 și 1.

c) *Puterea reactivă*

$$Q=UI\sin\varphi.$$

Pentru măsurarea puterii active în circuitele de curent alternativ nu se poate folosi, în general, metoda ampermetrului și a voltmetrului, deoarece nici unul din aceste aparate nu ține seama de factorul de putere.

În curent alternativ, pentru măsurarea puterii active se folosește wattmetrul, ale cărui indicații sînt proporționale cu puterea activă din circuit.

Wattmetrul se leagă într-un circuit de curent alternativ monofazat (fig. 85) în același mod ca în curent continuu.

În cazul cînd curenții din circuit sînt mari iar tensiunea sa este înaltă, nu mai este posibilă legarea directă a wattmetrului. Wattmetrul se leagă în circuit prin intermediul transformatoarelor de măsură, și anume, bobina de curent a wattmetrului se leagă la bornele secundarului transformatorului de curent, iar bobina de tensiune la bornele secundarului transformatorului de tensiune (fig. 51).

În acest caz se spune că wattmetrul a fost legat indirect în circuit.

Valoarea puterii din circuit se obține înmulțind indicația wattmetrului cu constanta acestuia și cu produsul rapoartelor de transformare ale celor două transformatoare de măsură. Vom avea astfel

$$P = \alpha C K_I K_U$$

în care P este puterea măsurată, în W, α — indicația wattmetrului, C — constanta wattmetrului, K_I — raportul de transformare al transformatorului de curent și K_U — raportul de transformare al transformatorului de tensiune.

Este posibilă și măsurarea semidirectă a puterii, în circuite parcurse de curenți mari dar alimentate la tensiuni reduse; în acest caz bobina de curent a wattmetrului se leagă în circuit prin transformatoare de curent iar bobina de tensiune direct (fig. 48).

3. **Măsurarea puterii active într-un sistem trifazat.** Puterea activă totală absorbită de un receptor dintr-o rețea polifazată sau produsă de un generator polifazat, poate fi măsurată folosindu-se un număr de wattmetre egal cu numărul de faze ale rețelei sau mai puțin unul.

În primul caz, bobinele de curent ale wattmetrelor se leagă în serie pe fiecare fază a rețelei, iar bobinele de tensiune se leagă cu borna polarizată la conductorul în serie cu care este legată bobina de curent a wattmetrului respectiv, iar cu cealaltă bornă la un punct comun, care poate fi un punct neutru creat artificial sau punctul neutru al receptorului. *Puterea activă totală măsurată este egală cu suma indicațiilor wattmetrelor.*

În al doilea caz, bobinele de curent ale wattmetrelor se leagă, ca și în cazul precedent, în serie pe fiecare fază a rețelei — mai puțin una — iar bobinele de tensiune se leagă cu borna polarizată la faza la care s-a legat bobina de curent corespunzătoare, cealaltă bornă legîndu-se la faza rămasă liberă (care poartă numele de fază de referință).

Puterea activă totală măsurată este egală cu suma algebrică a indicațiilor wattmetrelor.

Aplicînd principiile de mai sus sistemului trifazat se obțin două metode de măsurare a puterii active: *a)* metoda celor trei wattmetre și *b)* metoda celor două wattmetre.

a) *Metoda celor trei wattmetre.* Pentru măsurarea puterii active prin metoda celor trei wattmetre se leagă bobinele de curent

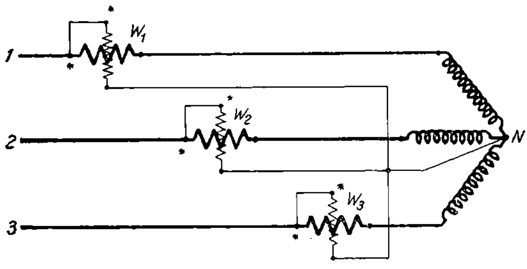


Fig. 86. Măsurarea prin metoda celor trei wattmetre a puterii trifazate, absorbită de un receptor cu neutru accesibil.

ale wattmetrelor în serie pe conductorul fiecărei faze, iar bobinele de tensiune cu borna polarizată la conductorul fazei respective, celelalte borne fiind legate împreună la punctul neutru al receptorului sau generatorului a cărui putere se măsoară (fig. 86).

Dacă rețeaua are patru conductoare, unul dintre acestea fiind conductorul neutru, atunci aceste borne se leagă împreună la conductorul neutru (fig. 87).

În cazul cînd rețeaua nu are un punct neutru accesibil, sau în cazul cînd generatorul sau receptorul este legat în triunghi, se creează un punct neutru artificial, în general cu ajutorul a trei rezistențe egale și de valoare foarte mare (cîteva mii de ohmi), care au un capăt legat la borna nepolarizată a wattmetrului, iar celălalt într-un punct comun cu capetele respective ale celorlalte două rezistențe (fig. 88).

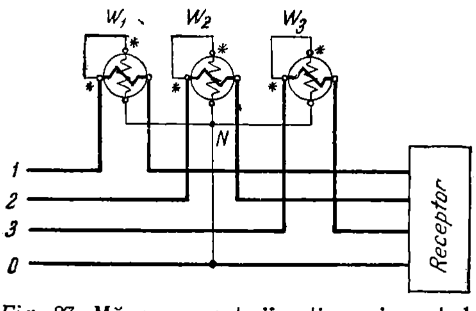


Fig. 87. Măsurarea puterii active prin metoda celor trei wattmetre într-o rețea cu patru conductoare.

Punctul comun al acestor rezistențe constituie punctul neutru artificial care poate înlocui nulul receptorului sau conductorul neutru al rețelei.

Puterea activă a generatoarelor sau receptoarelor trifazate, măsurată atît în cazul circuitelor cu punct neutru accesibil sau cu conductor neutru, cît și în cazul circuitelor cu punct neutru inaccesibil, este egală cu suma indicațiilor celor trei wattmetre.

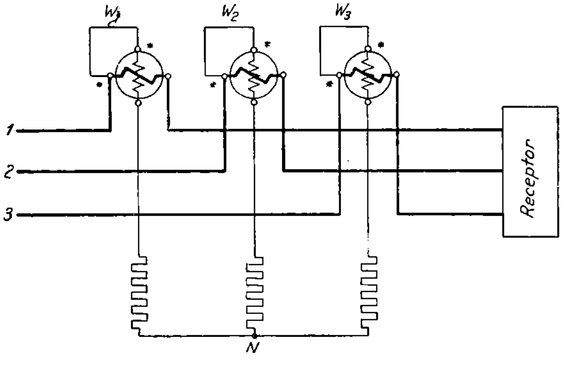


Fig. 88. Măsurarea puterii active, prin metoda celor trei wattmetre într-o rețea cu neutrul inaccesibil.

Pentru măsurarea prin metoda celor trei wattmetre a puterii în sistemele trifazate, au fost realizate aparate cu trei sau cu două echipaje mobile, ale căror sisteme de măsurare acționează simultan asupra unui singur dispozitiv indicator — de obicei un ac indicator — astfel încît aparatul indică direct puterea activă totală din circuitul trifazat. Asemenea aparate se construiesc atît pentru laboratoare — aparate de laborator — cît și pentru industrie — aparate de tablou.

Rezistențele necesare pentru crearea unui punct neutru artificial — în cazul cînd un asemenea punct este necesar pentru efectuarea măsurărilor — sînt uneori cuprinse chiar în cutia aparatului, astfel încît, la efectuarea măsurării, aparatul se leagă direct la rețea, în conformitate cu schema indicată pe aparat.

În fig. 89 este reprezentat modul de legare în circuit a unui astfel de wattmetru.

Wattmetrele trifazate, construite pe principiul celor trei wattmetre, pot fi legate la rețea și prin intermediul transformatoarelor de măsură. Astfel, atunci cînd într-un circuit de joasă tensiune circulă curenți de intensități mari, bobinele de curent se leagă în secundarele transformatoarelor de curent (fig. 90).

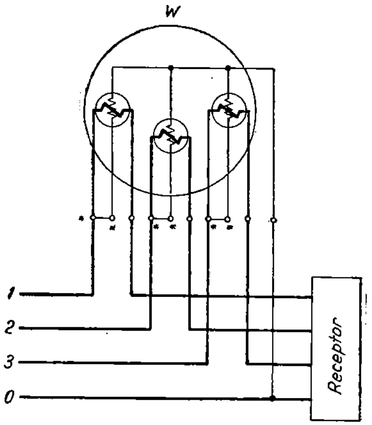


Fig. 89. Măsurarea puterii active trifazate cu wattmetru trifazat cu trei elemente active.

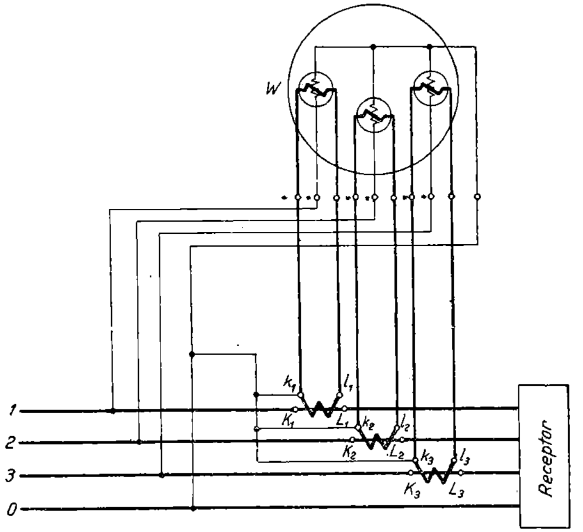


Fig. 90. Conectarea wattmetrului trifazat cu trei elemente active, prin intermediul transformatoarelor de curent, într-o rețea cu patru conductoare.

În cazul circuitelor de înaltă tensiune, bobinele de curent se leagă la secundarele transformatoarelor de măsură corespunzătoare iar bobinele de tensiune în serie cu rezistențe adiționale (fig. 91) sau în secundarele transformatoarelor de tensiune.

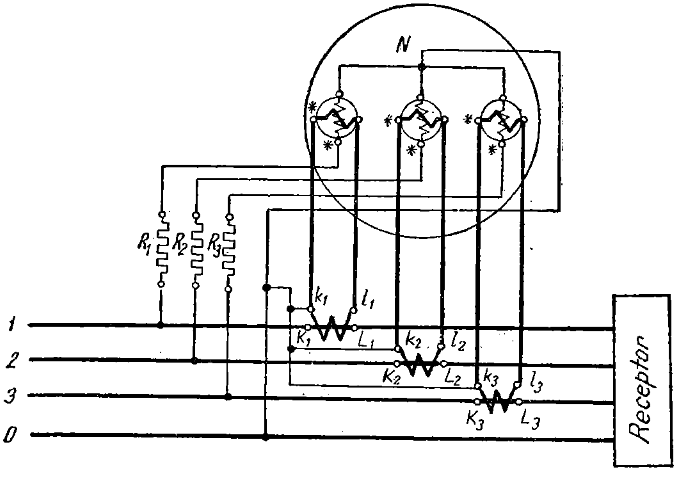


Fig. 91. Conectarea indirectă a wattmetrului trifazat cu trei elemente, prin transformatoare de curent și rezistențe adiționale, într-o rețea cu patru conductoare.

b) *Măsurarea puterii active într-un circuit trifazat folosind două wattmetre.* Puterea activă într-un sistem trifazat fără neutru se mai poate măsura (indiferent de modul de conectare al receptorului — stea sau triunghi) folosind numai două wattmetre, dacă se efectuează montajul din fig. 92.

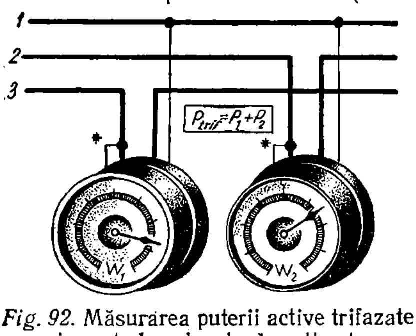


Fig. 92. Măsurarea puterii active trifazate prin metoda celor două wattmetre.

În acest montaj, bobinele de curent se leagă în serie pe două faze oarecare ale sistemului. Bobinele de tensiune se leagă între faza corespunzătoare bobinei de curent respective și faza liberă a sistemului, numită fază de referință. Și în acest caz, puterea activă totală din circuit este egală cu suma indicațiilor celor două wattmetre. Se poate întîmpla însă, ca, pentru un anumit defazaj al curentului față de tensiune, acul unuia din wattmetre să „bată

invers“, către opritor. Pentru ca wattmetrul respectiv să poată da o indicație normală, trebuie să se inverseze legăturile bobinei de tensiune. În acest caz, indicația acestui wattmetru se scade din indicația celuilalt wattmetru.

Este bine ca la măsurarea puterii active în sistemele trifazate prin metoda celor două wattmetre să se folosească aparate identice pentru a nu se greși la montarea lor în circuit și deci la regulile de adunare și scădere a indicațiilor. În cazul cînd nu se dispune de aparate identice, pentru a se ști dacă indicațiile wattmetrelor se scad sau se adună, se va proceda în felul următor: se montează ambele wattmetre în serie pe una din fazele circuitului, bobinele de tensiune legîndu-se între această fază și faza de referință. Acele ambelor wattmetre se vor deplasa în același sens. Se desface apoi bobina de curent și legătura corespunzătoare a bobinei de tensiune ale unui wattmetru și se leagă wattmetrul în cea de-a doua fază a circuitului trifazat, în același mod în care a fost legat inițial. Dacă acum cele două wattmetre dau indicații în același sens, cele două indicații *se adună*; dacă unul din wattmetre bate în sens invers, se inversează legăturile la bornele bobinei de tensiune iar *indicațiile sale se scad din indicațiile wattmetrului la care nu s-a făcut nici o modificare în montaj.*

Pentru modificarea legăturilor bobinei de tensiune, unele wattmetre sînt prevăzute cu un comutator cu ajutorul căruia se schimbă sensul curentului în bobina de tensiune fără a mai umbla la conexiunile acesteia.

În fig. 93, *a* și *b* sînt reprezentate scheme de măsurare a puterii active trifazate cu 2 wattmetre legate semidirect și indirect la rețea (prin transformatoare de măsură).

Ca și în cazul metodei celor trei wattmetre, și în cazul metodei celor două wattmetre se construiesc aparate care măsoară *direct* puterea activă din circuitele trifazate. Dispozitivul indicator (acul indicator) al unui astfel de aparat este cuplat solidar cu două echipaje mobile identice, acționate separat pe principiul wattmetrului obișnuit (fig. 94).

Wattmetrele trifazate, construite pe principiul de măsurare prin metoda celor două wattmetre, se realizează atît pentru laboratoare cît și pentru industrie. Schema de legare directă la rețea a unui astfel de wattmetru este reprezentată în fig. 95.

De asemenea, în cazul cînd măsurătorile se fac în circuite în care curenții sînt foarte mari sau în circuite de înaltă tensiune, wattmetrele se montează în circuit cu ajutorul transformatoarelor de măsură. Trebuie observat că, nu se folosesc decît două transformatoare de tensiune, montajul lor purtînd numele de montaj în V (fig. 96, *b*).

c) *Măsurarea puterii trifazate în rețelele echilibrate și simetrice cu un singur wattmetru.* Dacă într-o rețea trifazată simetrică cu trei sau patru conductoare, cele trei faze sînt perfect echilibrate, iar cele trei wattmetre folosite pentru măsurarea puterii

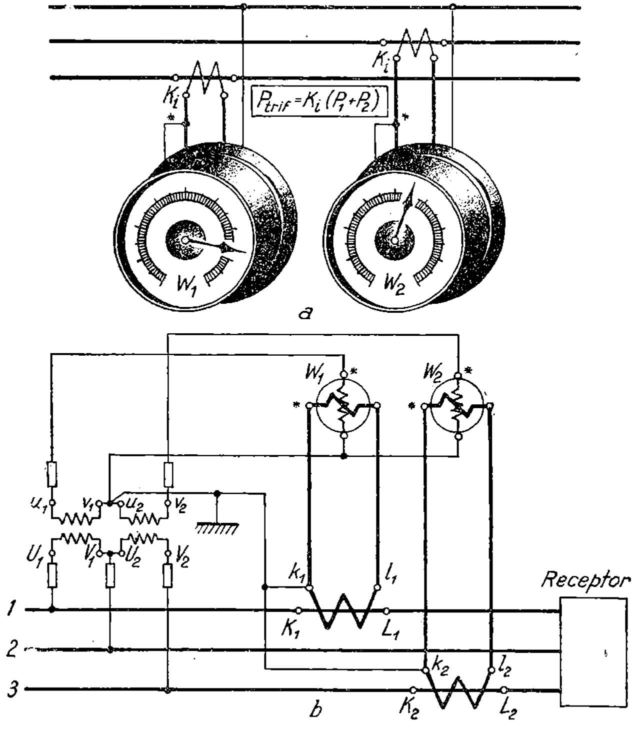


Fig. 93. Măsurarea puterii active trifazate, cu două wattmetre conectate semidirect (*a*) și indirect (*b*).

active sînt identice, atunci indicațiile aparatelor sînt identice. Rezultă că puterea activă totală dintr-un asemenea circuit poate fi măsurată cu un singur wattmetru, conectat ca în schema din fig. 97 ; valoarea puterii active se obține, în acest caz, înmulțind cu trei indicația wattmetrului.

Pentru măsurarea cu un singur wattmetru a puterii active absorbite de receptoare legate în stea — cu punctul neutru inaccesibil — sau de receptoare legate în triunghi, capătul nepolarizat al bobinei de tensiune se leagă la un punct neutru artificial

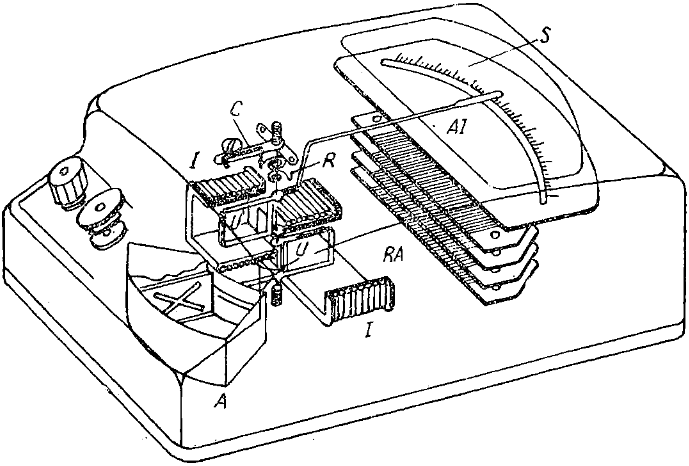


Fig. 94. Wattmetru trifazat, construit pe principiul metodei celor două wattmetre:
I – bobine fixe ; U – bobine mobile ; R – resort ; AI – ac indicator ; RA – rezistență adițională ; A – amortizor cu paletă ; C – corector ; S – scară gradată.

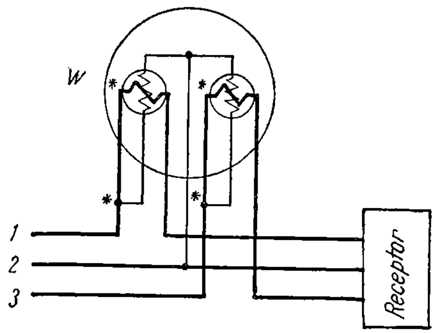


Fig. 95. Măsurarea puterii active trifazate cu un wattmetru cu două elemente active, conectat direct.

realizat ca în schema din fig. 97, folosind două rezistențe egale cu rezistența circuitului de tensiune al wattmetrului (a bobinei de tensiune și a rezistenței adiționale).

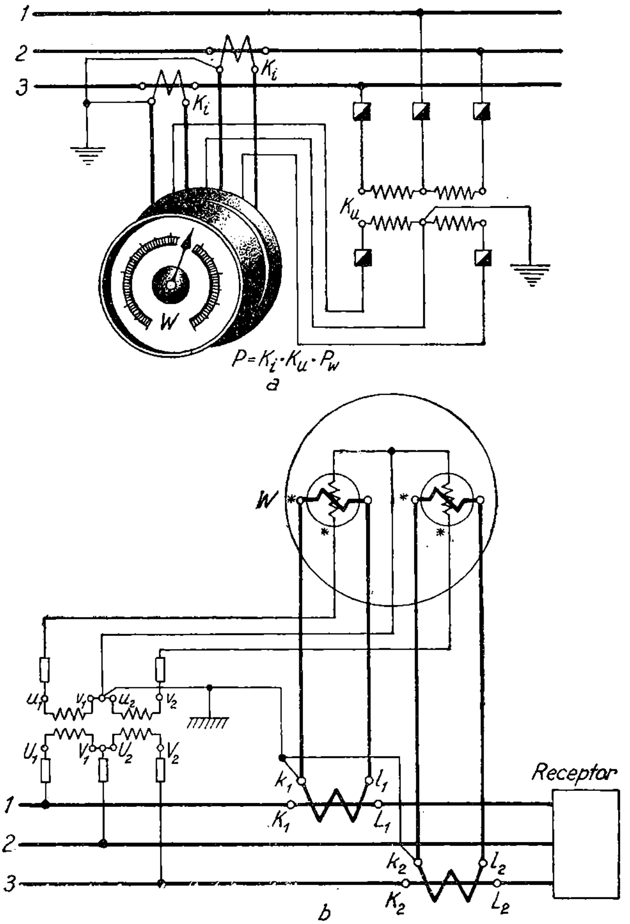


Fig. 96. Măsurarea puterii active trifazate cu un wattmetru cu două elemente active, conectat indirect (două moduri de reprezentare).

Dacă, în același sistem trifazat simetric, punctul neutru este accesibil, borna nepolarizată a bobinei de tensiune a wattmetrului se leagă direct la acest punct.

4. **Măsurarea energiei active într-un sistem trifazat.** Pentru măsurarea energiei electrice în circuitele de curent continuu și curent alternativ monofazat se folosesc contoarele descrise în cap. II, conectate în circuitul de măsurare după schemele care au fost, de asemenea, descrise în același capitol.

Pentru măsurarea energiei active în rețele trifazate se pot folosi contoare monofazate legate în circuit ca și wattmetrele din fig. 86 ... 88.

În același scop se construiesc contoare cu trei elemente active pe același ax și contoare cu două elemente active ; primele se

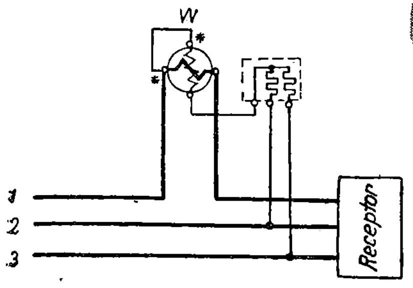


Fig. 97. Măsurarea puterii active trifazate într-o rețea simetrică și perfect echilibrată cu un singur wattmetru.

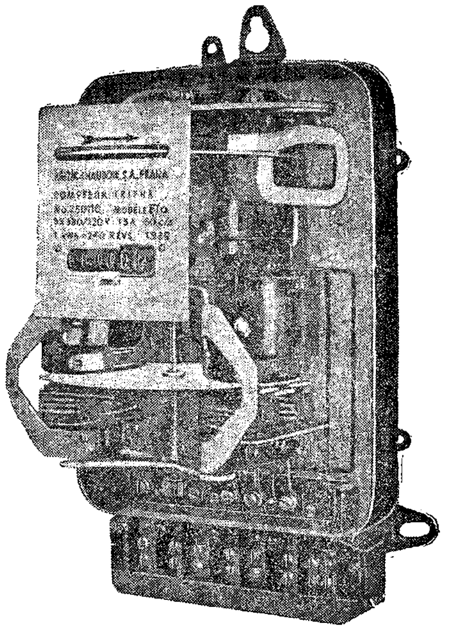


Fig. 98. Contor trifazat, construit pe principiul metodei celor trei wattmetre.

bazează pe metoda de măsurare a puterii cu trei wattmetre (fig. 98) și se folosesc în instalațiile dezechilibrate, iar celelalte se bazează pe metoda celor două wattmetre și se utilizează în instalațiile trifazate fără conductor neutru.

Legarea contoarelor trifazate la rețea, în special în cazul montajelor indirecte — prin transformatoare de măsură, trebuie făcută cu foarte mare atenție. Efectuarea unei legături greșite conduce la înregistrări eronate. Sensul în care se rotește discul contorului nu dă indicații asupra corectitudinii legăturilor.

În fig. 99 și 100, 101 și 102 sînt reprezentate schemele corecte de legare la rețea a contoarelor trifazate, direct, semidirect și indirect — prin intermediul transformatoarelor de curent și de tensiune.

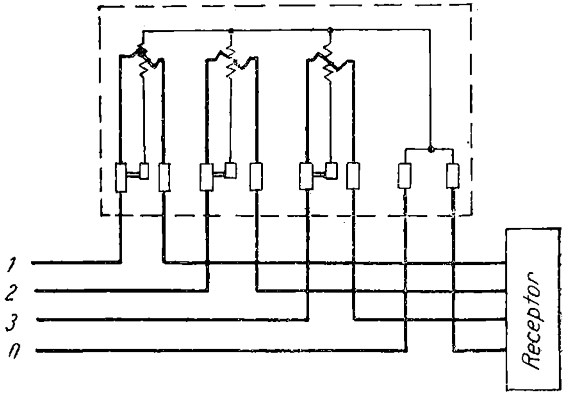


Fig. 99. Legarea directă într-un circuit cu patru conductoare a unui contor trifazat cu trei elemente active.

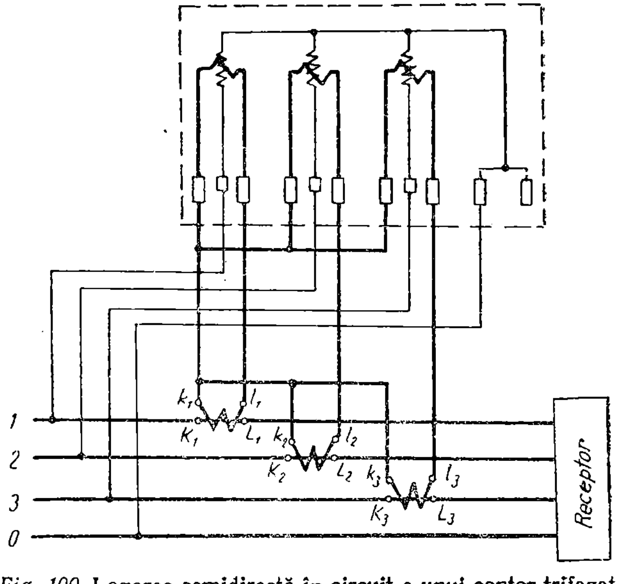


Fig. 100. Legarea semidirectă în circuit a unui contor trifazat cu trei elemente active.

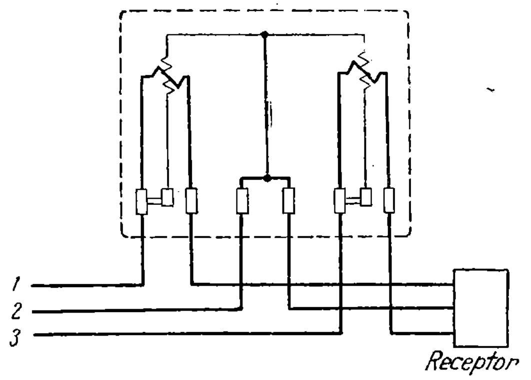


Fig. 101. Legarea directă în circuit a unui contor trifazat cu două elemente active.

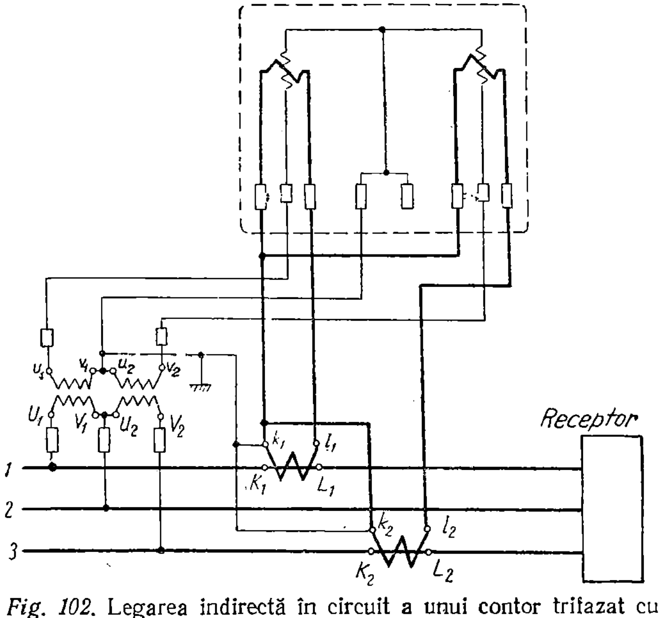


Fig. 102. Legarea indirectă în circuit a unui contor trifazat cu două elemente active.

5. **Măsurarea puterii și energiei reactive în circuite mono- și trifazate.** Expresia puterii reactive într-un circuit monofazat

$$Q = UI \sin \varphi$$

poate fi scrisă sub forma :

$$Q = UI \cos \left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right)$$

din care rezultă că puterea reactivă într-un circuit monofazat poate fi măsurată cu un wattmetru obișnuit — *la care, însă, curentul care parcurge bobina de tensiune este defazat cu 90° înaintea tensiunii rețelei.* Acest lucru s-a realizat construindu-se un aparat electrodinamic — a cărui bobină de tensiune are reactanța inductivă mult mai mare decît rezistența. Aparatul a fost denumit *varmetru,* de la numele unității de măsură a puterii reactive — varul.

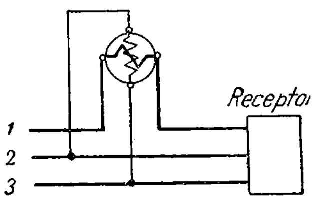


Fig. 103. Măsurarea cu un wattmetru a puterii reactive într-un circuit trifazat simetric și echilibrat.

La acest varmetru, curentul este defazat cu 90° în urma tensiunii de alimentare deoarece în circuitul de tensiune s-a introdus o bobină de inductanță. Dacă în locul bobinei se leagă un condensator, curentul va fi cu 90° înaintea tensiunii.

Indicațiile acestor aparate sînt influențate de variația frecvenței. La legarea unui varmetru în circuitul de măsurare, se respectă aceleași reguli ca la wattmetre.

Pentru măsurarea energiei reactive într-un circuit monofazat s-au construit aparate denumite *varorămetre* (fig. 106); acestea fac parte din clasa aparatelor de inducție și au o construcție analogă cu aceea a contorului monofazat de inducție.

Pentru măsurarea puterii și energiei reactive, aceste aparate se leagă la rețea ca și aparatele de măsurare a puterii și, respectiv, energiei active, schemele de montaj fiind aceleași (fig. 85, respectiv fig. 41).

În cazul unui sistem trifazat simetric, datorită defazajului normal care există între faze, este posibil ca folosind wattmetre și, respectiv, contoare de energie activă să se măsoare puterea și energia reactivă. Pentru aceasta este necesar să se modifice numai modul de legare în circuit a bobinelor de tensiune ale acestor aparate (fig. 103, 104, 105).

În cazul unui circuit trifazat perfect simetric și echilibrat, puterea reactivă (respectiv energia reactivă) se poate măsura cu

un wattmetru obișnuit (respectiv cu un contor de energie activă) a cărui bobină de curent se leagă în serie cu faza *1* și a cărui bobină de tensiune se leagă între fazele *2* și *3* (fig. 103). Puterea reactivă Q este egală cu indicația wattmetrului înmulțită cu $\sqrt{3}$.

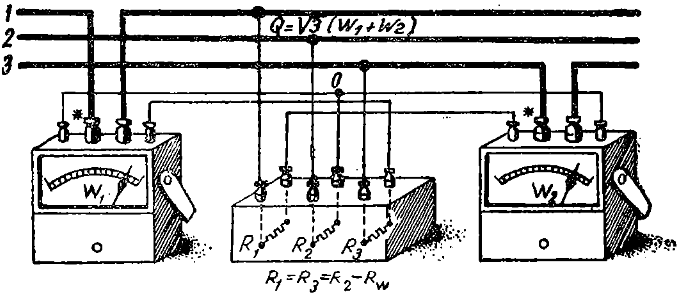


Fig. 104. Metoda celor două wattmetre pentru măsurarea puterii reactive trifazate.

Pentru rețelele trifazate simetrice cu trei conductoare se folosesc două wattmetre (sau contoare cu două echipaje mobile) ale căror bobine de curent se leagă, respectiv, pe fazele *1* și *3*, bobinele de tensiune legîndu-se între faza *3* și *0* pentru primul watt-

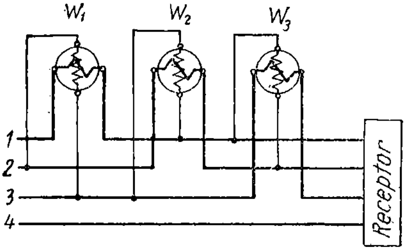


Fig. 105. Metoda celor trei wattmetre pentru măsurarea puterii reactive trifazate.

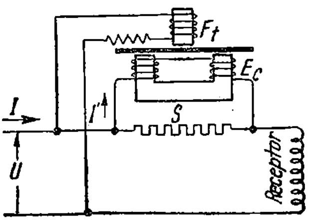


Fig. 106. Schema de legare în circuit a unui varorămetru.

metru și între faza *1* și *0* pentru al doilea wattmetru (fig. 104). Trebuie observat că bobina de tensiune a primului wattmetru se leagă invers [1]). Puterea reactivă trifazată este egală cu suma algebrică a indicațiilor înmulțită cu $\sqrt{3}$.

Puterea reactivă se poate măsura și prin metoda celor trei wattmetre, indiferent dacă rețeaua are trei sau patru conduc-

[1]) Cu borna polarizată la nulul creat artificial.

toare, legîndu-se bobinele de curent în serie pe cele trei faze, iar bobinele de tensiune în derivație între fazele diferite, respectiv de acelea pe care este legată bobina de curent a wattmetrului (fig. 105).

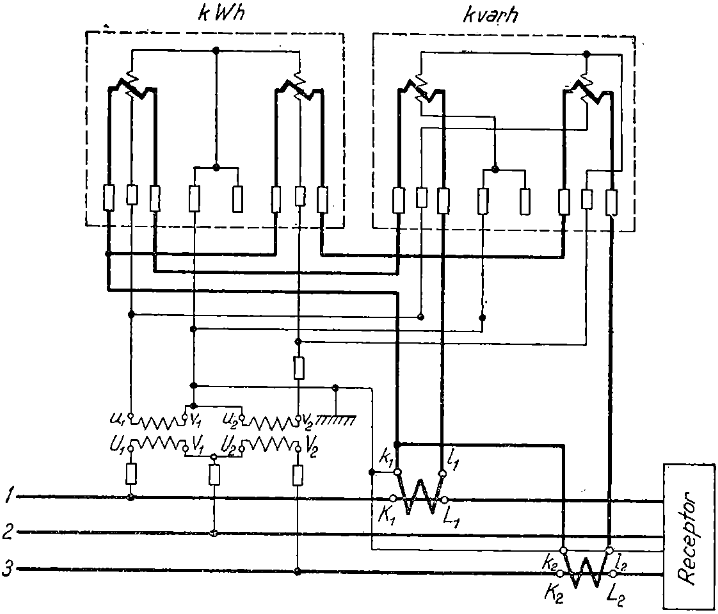


Fig. 107. Măsurarea energiei active și reactive trifazate cu un contor de energie activă și un contor de energie reactivă conectate indirect.

Puterea reactivă măsurată prin metoda celor trei wattmetre este egală cu suma indicațiilor wattmetrelor împărțită la $\sqrt{3}$. Energia reactivă în circuitele trifazate se măsoară cu contoare trifazate de energie reactivă. În figura 107 este reprezentat modul de legare la rețea a unui contor trifazat de energie reactivă, bazat pe un sistem cu două echipaje și construit pentru circuite fără fir neutru.

6. Măsurarea factorului de putere. Fazmetre (cosfimetre). Puterea activă într-un circuit monofazat de curent alternativ este dată de relația :

$$P = UI \cos \varphi, \text{ în W}$$

în care U este tensiunea rețelei în V, I — curentul absorbit sau produs în A, iar $\cos \varphi$ este un număr ce reprezintă *factorul de putere*. Unghiul φ este defazajul dintre curent și tensiune, defa-

zaj care apare numai în curent alternativ — cînd în circuit există bobine de inductanță și condensatoare.

Factorul de putere poate fi determinat, măsurînd puterea activă absorbită sau produsă (cu un wattmetru), tensiunea rețelei (cu un voltmetru) și curentul (cu un ampermetru). Cunoscînd aceste mărimi rezultă

$$\cos \varphi = \frac{P}{UI}.$$

Pentru a se obține *direct* valoarea factorului de putere fără a fi necesare calcule s-au construit aparate speciale pentru măsurarea directă a factorului de putere, numite *fazmetre* sau *cosfimetre* (fig. 108).

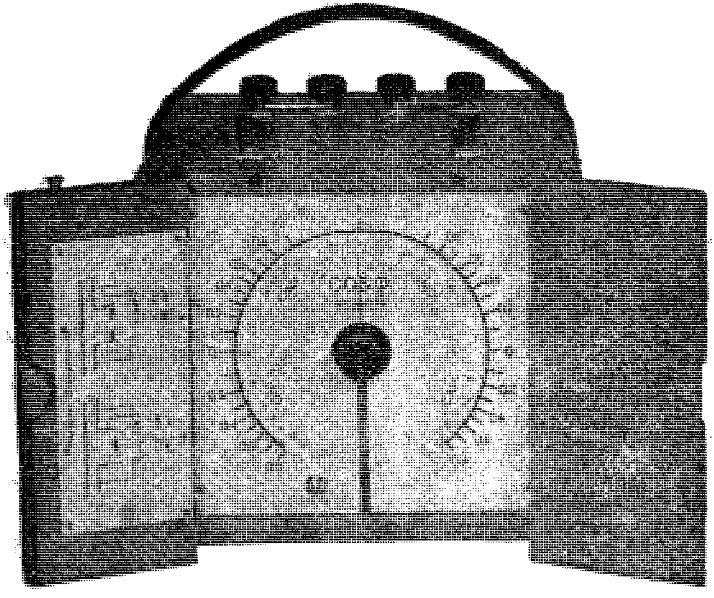


Fig. 108. Aspectul exterior al unui fazmetru monofazat cu două sensibilități (2,5 A—110 V) și (5 A—110 V) construit pe principiul logometrului electrodinamic, pentru cos φ capacitiv și inductiv, pentru o frecvență de 50 Hz.

Fazmetrul este un aparat construit pe principiul logometrului, avînd echipajul mobil constituit din două bobine încrucișate cu conductor subțire (de tensiune), iar statorul dintr-o bobină din conductor gros (de curent); această bobină poate fi, fie fără

fier, fie cu fier. Legarea unui cos φ-metru la o rețea monofazată se face ca în fig. 110. Ecuația de funcționare a unui fazmetru se stabilește — într-un circuit monofazat — scriind că cuplul produs de cele două bobine mobile este același. Dacă bobina fixă este parcursă de curentul alternativ I iar bobina mobilă B_1 este străbătută de curentul I_1 echipajul mobil al aparatului este supus unui cuplu

$$M_1 = k_1 I I_1 \cos \varphi \sin \alpha.$$

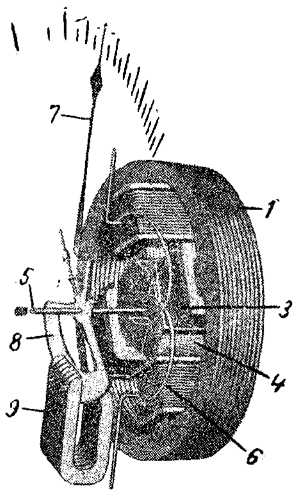


Fig. 109. Dispozitivul de măsurat al unui fazmetru electrodinamic:

1 – miez de fier; 2 – bobină de curent; 3 – bobina de tensiune; 4 – bobina mobilă; 5 – ax mobil; 6 – benzi de alimentare; 7 – ac indicator; 8 – disc de amortizare; 9 – magnet de amortizare.

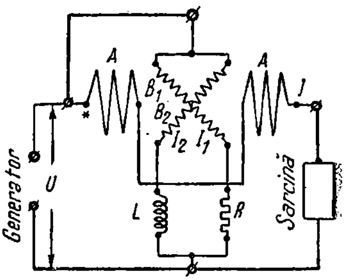


Fig. 110. Schema interioară și de legare la rețea a unui fazmetru monofazat:

B_1, B_2 – bobine mobile; A – bobina fixă; L – inductanță; R – rezistență.

A doua bobină B_2 care este decalată cu 90° față de prima este parcursă de curentul I_2 și va fi supusă unui cuplu

$$M_2 = k_2 I I_2 \cos (90° - \varphi) \times \sin (90° - \alpha) = k_2 I I_2 \sin \varphi \cos \alpha.$$

Pentru ca echipajul mobil să rămînă în echilibru trebuie ca

$$M_1 = M_2;$$

rezultă deci

$$k_1 I I_1 \cos \varphi \sin \alpha = k_2 I I_2 \sin \varphi \cos \alpha,$$

de unde

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{k_1}{k_2} \frac{I_1}{I_2} \operatorname{tg} \alpha = k \operatorname{tg} \alpha.$$

Întrucît I_1 și I_2 sînt constanți și depind numai de rezistențele bobinajelor bobinelor încrucișate, indicațiile aparatului vor fi proporționale cu defazajul. Scara aparatului poate fi divizată fie în unități de unghi (φ), fie în unități ale tangentei de φ, fie în $\cos \varphi$, deoarece din tabelele trigonometrice se poate deduce unghiul φ cînd se cunoaște $\operatorname{tg} \varphi$, iar $\cos \varphi$ poate fi calculat din $\operatorname{tg} \varphi$ cu ajutorul formulei

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1+\operatorname{tg}^2 \varphi}}.$$

Factorul de putere într-un circuit monofazat se poate calcula și cu ajutorul indicațiilor pe care le dau un wattmetru și un varmetru. Dacă se notează cu P puterea activă și cu Q puterea reactivă produse sau absorbite de o sursă atunci

$$P = UI \cos \varphi$$

$$Q = UI \sin \varphi.$$

Împărțind aceste relații una prin alta se obține $\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q}{P}$ de unde se deduce $\cos \varphi$. Factorul de putere într-o rețea trifazată se poate determina în cazul cînd sarcinile pe cele trei faze sînt perfect egale, prin metoda celor două wattmetre, cu ajutorul relației :

$$\operatorname{tg} \varphi = \sqrt{3}\, \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$$

în care α_1 și α_2 sînt indicațiile celor două wattmetre. Există curbe sau tabele care dau de-a dreptul valoarea factorului de putere cînd se cunoaște raportul indicațiilor (α_1/α_2) (fig. 111 și tabela 8).

Factorul de putere mediu, într-un anumit interval de timp, se poate obține dacă se împart indicațiile unui contor de energie reactivă prin indicațiile, în același timp, ale unui contor de energie activă.

În adevăr, dacă W_P este energia activă iar W_Q cea reactivă, se pot scrie relațiile

$$W_P = tUI \cos \varphi$$

$$W_Q = tUI \sin \varphi$$

de unde

$$\frac{W_Q}{W_P} = \operatorname{tg} \varphi.$$

Factorul de putere într-un circuit trifazat simetric se poate măsura cu un fazmetru monofazat, cu bobina fixă legată în serie

pe o fază, cu un capăt comun al bobinelor mobile la aceeași fază iar cu celelalte două la fazele pe care nu este conectată bobina fixă.

Se construiesc și fazmetre trifazate.

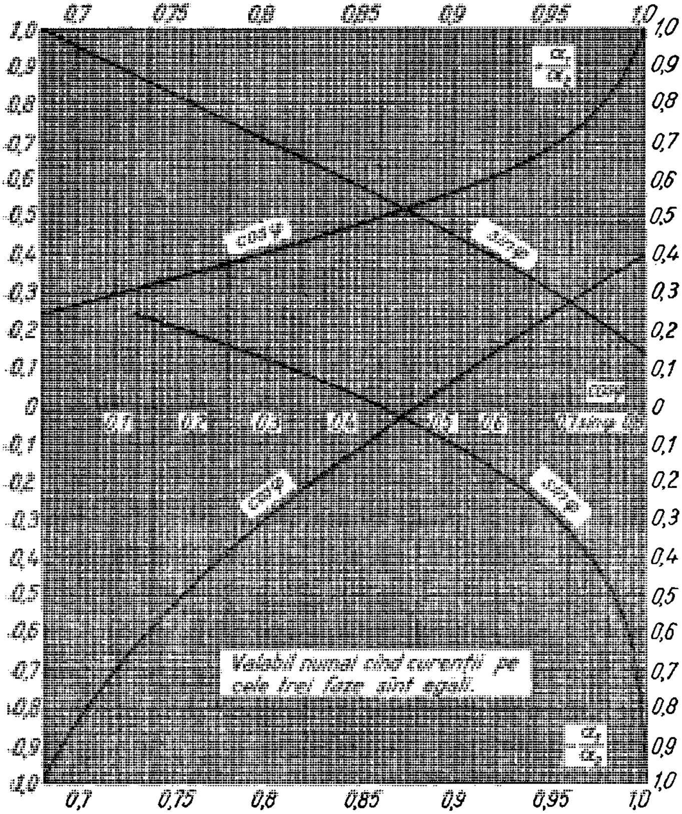


Fig. 111. Diagramă pentru determinarea indirectă a factorului de putere (cos φ).

Modul de utilizare a diagramei:

Pe ordonate sînt înscrise rapoartele α_1/α_2 : (la partea superioară) și $-\frac{\alpha_1}{\alpha_2}$ (la partea inferioară). Pe abscise sînt înscrise valorile lui cos φ (respectiv sin φ). Se procedează astfel : pentru curbele corespunzătoare lui α_1/α_2, cos φ se citește pe gradația de deasupra figurii iar sin φ, pe gradația mijlocie ; pentru curbele corespunzătoare lui $-\frac{\alpha_1}{\alpha_2}$, cos φ se citește pe gradația mijlocie iar sin φ, pe gradația de desubtul figurii.

Tabelă pentru determinarea factorului de putere

CELE 2 CITIRI SÎNT POZITIVE $\frac{a_1}{a_2}$								$a_1 < a_2$				UNA DIN CITIRI E NEGATIVĂ $-\frac{a_1}{a_2}$			
RAP.	COS φ	RAP.	COS φ	RAP.	COS φ	RAP.	COS φ	RAP.	COS φ	RAP.	COS φ	RAP.	COS φ	RAP.	COS φ
0,99	0,9996	0,74	0,9664	0,49	0,8597	0,24	0,6854	0,00	0,5000	0,25	0,3280	0,50	0,1900	0,75	0,0830
0,98	0,9992	0,73	0,9638	0,48	0,8534	0,23	0,6778	0,01	0,4927	0,26	0,3218	0,51	0,1853	0,76	0,0792
0,97	0,9988	0,72	0,9612	0,47	0,8471	0,22	0,6702	0,02	0,4854	0,27	0,3156	0,52	0,1806	0,77	0,0754
0,96	0,9984	0,71	0,9586	0,46	0,8408	0,21	0,6626	0,03	0,4781	0,28	0,3094	0,53	0,1759	0,78	0,0716
0,95	0,9980	0,70	0,9560	0,45	0,8345	0,20	0,6550	0,04	0,4708	0,29	0,3032	0,54	0,1712	0,79	0,0678
0,94	0,9976	0,69	0,9521	0,44	0,8282	0,19	0,6472	0,05	0,4635	0,30	0,2970	0,55	0,1665	0,80	0,0640
0,93	0,9972	0,68	0,9482	0,43	0,8219	0,18	0,6394	0,06	0,4562	0,31	0,2914	0,56	0,1618	0,81	0,06064
0,92	0,9968	0,67	0,9443	0,42	0,8156	0,17	0,6316	0,07	0,4489	0,32	0,2858	0,57	0,1571	0,82	0,05728
0,91	0,9964	0,66	0,9404	0,41	0,8093	0,16	0,6233	0,08	0,4416	0,33	0,2802	0,58	0,1524	0,83	0,05392
0,90	0,9960	0,65	0,9365	0,40	0,8030	0,15	0,6160	0,09	0,4343	0,34	0,2746	0,59	0,1477	0,84	0,05056
0,89	0,9946	0,64	0,9326	0,39	0,7958	0,14	0,6082	0,10	0,4270	0,35	0,2690	0,60	0,1430	0,85	0,04720
0,88	0,9932	0,63	0,9287	0,38	0,7886	0,13	0,6004	0,11	0,4202	0,36	0,2634	0,61	0,1389	0,86	0,04384
0,87	0,9918	0,62	0,9248	0,37	0,7814	0,12	0,5926	0,12	0,4134	0,37	0,2578	0,62	0,1348	0,87	0,03848
0,86	0,9904	0,61	0,9209	0,36	0,7742	0,11	0,5848	0,13	0,4066	0,38	0,2522	0,63	0,1307	0,88	0,03712
0,85	0,9890	0,60	0,9170	0,35	0,7670	0,10	0,5770	0,14	0,3998	0,39	0 2466	0,64	0,1266	0,89	0,03376
0,84	0,9876	0,59	0,9119	0,34	0,7598	0,09	0,5693	0,15	0,3930	0,40	0,2410	0,65	0,1225	0,90	0,03040
0,83	0,9862	0,58	0,9068	0,33	0,7526	0,08	0,5616	0,16	0,3862	0,41	0,2359	0,66	0,1184	0,91	0,02728
0,82	0,9848	0,57	0,9017	0,32	0,7454	0,07	0,5539	0,17	0,3794	0,42	0,2308	0,67	0,1143	0,92	0,02416
0,81	0,9834	0,56	0,8966	0,31	0,7382	0,06	0,5462	0,18	0,3726	0,43	0,2257	0,68	0,1102	0,93	0,02104
0,80	0,9820	0,55	0,8915	0,30	0,7310	0,05	0 5385	0,19	0,3658	0,44	0,2206	0,69	0,1061	0,94	0,01792
0,79	0,9794	0,54	0,8864	0,29	0,7234	0,04	0,5308	0,20	0,3592	0,45	0,2156	0,70	0,1021	0,95	0,01480
0,78	0,9768	0,53	0,8813	0,28	0,7158	0,03	0,5231	0,21	0,3528	0,46	0.2104	0,71	0,0982	0,96	0,01184
0,77	0,9742	0,52	0,8762	0,27	0,7082	0,02	0,5154	0,22	0,3466	0,47	0,2053	0,72	0,0944	0,97	0,00888
0,76	0,9716	0,51	0,8711	0,26	0,7006	0,01	0,5077	0,23	0,3404	0,48	0,2002	0,73	0,0906	0,98	0,00572
0,75	0,9690	0,50	0,8660	0,25	0,6930	0,00	0,5000	0,24	0,3342	0,49	0,1951	0,74	0,0868	0,99	0,00296

7. **Măsurarea frecvenței. Frecvențmetrul.** Frecvența este o mărime ce caracterizează rapiditatea schimbării sensului curenților alternativi. Frecvența se măsoară în herți (Hz) [1]. Frecvența industrială din țara noastră este de 50 Hz. Menținerea cît mai constantă a frecvenței într-o rețea este de mare importanță, deoarece turația unui motor de curent alternativ este legată de frecvența rețelei prin relația

$$n_s = \frac{60f}{p}$$

în care n_s este turația de sincronizare a motorului, în rot/min ;
f — frecvența rețelei, în Hz ;
p — numărul de perechi de poli ai motorului.

Dacă n este turația motorului și s alunecarea sa, definită prin relația

$$s = \frac{n_s - n}{n_s},$$

atunci

$$n = n_s(1-s) = \frac{60}{p} f (1-s),$$

ceea ce arată că viteza unui motor electric de curent alternativ depinde direct de frecvența rețelei.

Pentru măsurarea frecvenței, cel mai întrebuințat aparat este frecvențmetrul de rezonanță cu lamele vibrante [2] (fig. 112).

Frecvențmetrul de rezonanță este construit, în principiu, dintr-o serie de lamele (l) de diferite lungimi și grosimi, așezate una lîngă alta și prinse la un capăt de o bară metalică k. Fiecare din aceste lamele intră în rezonanță la o anumită vibrație a armăturii (A) a unui electromagnet E care este fixată pe aceeași bară metalică ; bobinele electromagnetului sînt alimentate cu curentul a cărui frecvență trebuie măsurată (fig. 112).

---

[1] Unitatea de măsură a frecvenței se mai numește și ciclu pe secundă sau perioadă pe secundă, această din urmă denumire fiind astăzi părăsită.

[2] Dacă se prinde într-o menghină o lamelă de oțel, se încovoaie într-o parte și i se dă drumul, aceasta începe să vibreze, adică să se miște repede într-o parte și în alta. Dacă lama de oțel e mai scurtă, vibrează mai repede decît dacă e mai lungă. De asemenea o lamă mai subțire vibrează mai repede decît o lamă mai groasă. Se mai știe că, dacă se produce o vibrație lîngă o lamă, care ar putea să vibreze cu aceeași frecvență, lama începe să vibreze. Se zice că lama a intrat în rezonanță. Frecvențmetrele de vibrație sau cu lamele s-au construit ținîndu-se seama de toate aceste proprietăți ale lamelor elastice.

Bara metalică care susține lamelele și armătura electromagnetului sînt fixate, prin două resoarte, de carcasa aparatului. Cînd curentul alternativ străbate bobinele electromagnetului, armătura vibrează într-un ritm imprimat de frecvența curentului alternativ și transmite vibrațiile sale întregului sistem. Una dintre

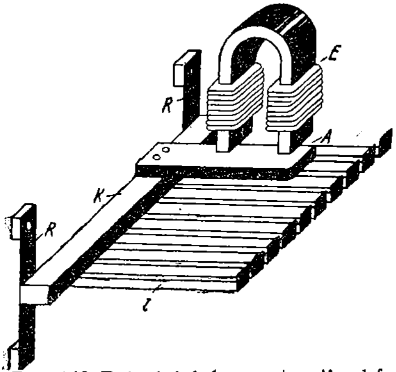


Fig. 112. Principiul de construcție al frecvențmetrului cu lamele vibrante (de rezonanță) :

E — electromagnet : A — armătura ; l — lamele vibrante ; R — resoarte plane ; K — suport.

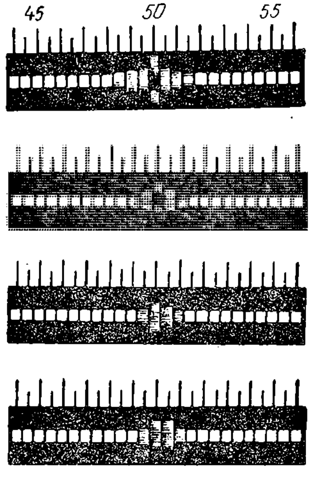


Fig. 113. Aspectul vibrației lamelelor unui frecvențmetru, pentru frecvențele 50 ; 50,1 ; 50,2 ; 50,25.

lamele va intra în rezonanță și va vibra puternic ; capetele lamelelor (vopsite în alb) sînt vizibile și se găsesc în fața unei scări gradate în herți (fig. 114), astfel încît vibrația unei lamele corespunde unei anumite frecvențe a curentului care alimentează aparatul. Este posibil ca mai multe lamele să vibreze ; frecvența măsurată este cea corespunzătoare lamelei care vibrează cel mai puternic. Dacă vibrează două lamele și vibrațiile lor sînt egale, frecvența măsurată este egală cu media celor două indicații. În fig. 113 este reprezentat aspectul vibrației lamelelor unui frecvențmetru pentru diferite frecvențe în jurul frecvenței de 50 Hz, iar în fig. 114 aspectul exterior al unui frecvențmetru.

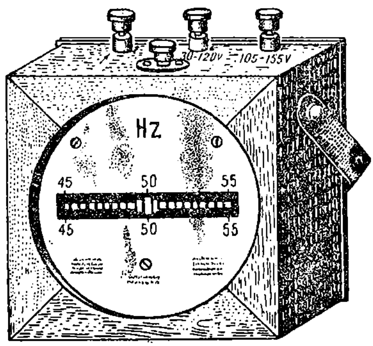


Fig. 114. Aspectul exterior al unui frecvențmetru cu diferite sensibilități de tensiune.

Pentru măsurarea frecvenței într-un circuit monofazat frecvențmetrul se leagă în derivație, adică în același fel ca un voltmetru.

În afară de frecvențmetrele cu lamele vibrante, mai există frecvențmetre cu ac indicator sau cu două ace indicatoare. Aceste aparate se folosesc mai rar, fiind prea scumpe.

Principiul lor de funcționare este următorul:

Dacă se formează un circuit cuprinzînd o rezistență neinductivă legată în serie cu un condensator, curentul ce străbate acest circuit este dat de relația

$$I=\frac{U}{\sqrt{R^2+\frac{1}{C^2\omega^2}}}=\frac{C\omega}{\sqrt{R^2C^2\omega^2+1}}U,$$

iar tensiunea la bornele condensatorului este:

$$U_1=\frac{I}{C\omega}=\frac{U}{\sqrt{R^2C^2\omega^2+1}}\cdot$$

Se vede că tensiunea este o funcție de ω [1]) și deci de frecvența rețelei. Dacă se măsoară această tensiune cu ajutorul unui voltmetru și dacă acest voltmetru este gradat direct în herți (Hz) se obține un frecvențmetru cu ac indicator.

---

[1]) $\omega=2\pi f$ este pulsația curentului alternativ.

CAPITOLUL VI

APARATE SPECIALE FOLOSITE PENTRU MĂSURĂRI ÎN CURENT CONTINUU ŞI ALTERNATIV. APARATE DE SINCRONIZARE

1. **Aparate cu redresoare.** Mărimile alternative pot fi măsurate redresîndu-se întîi curentul alternativ corespunzător şi măsurîndu-se apoi curentul redresat cu un aparat cu cadru mobil şi cu magnet permanent. Redresoarele folosite sînt, de obicei, cu cuproxid sau cu seleniu.

Un element de redresor (cuproxid sau seleniu) este un element care are proprietatea că prezintă o rezistenţă practic nulă cînd este străbătut de curentul electric într-un anumit sens, rezistenţa sa fiind practic infinită cînd sensul de parcurgere al curentului este contrar.

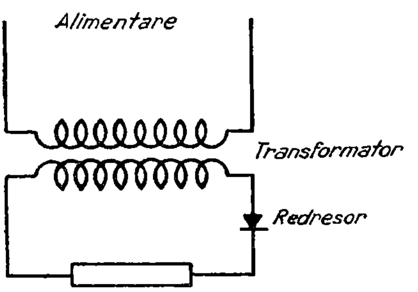


Fig. 115. Schema de redresare a unei singure alternanţe.

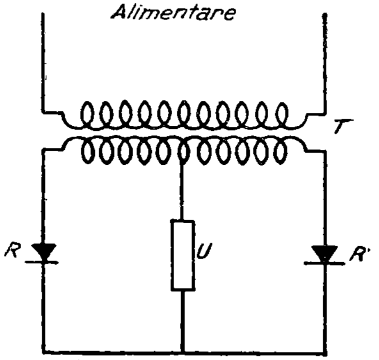


Fig. 116. Schemă de redresare a ambelor alternanţe:
T – transformator; R – redresoare; U – utilizarea.

Există numeroase scheme de montaj ale redresoarelor pentru obţinerea unui curent redresat. În fig. 115 este arătat un montaj

în care se redresează numai o singură alternanță; în fig. 116 se dă o schemă în care sînt redresate ambele alternanțe.

Pentru aparatele de măsură schema de redresare este, în general, astfel aleasă, încît să fie redresate ambele alternanțe (fig. 117).

Aparatele cu redresor se combină, de obicei, mai multe împreună, în general un voltmetru și un ampermetru. Asemenea aparate se numesc voltampermetre. Ele pot măsura tensiuni sau curenți continui, cînd se folosește direct elementul

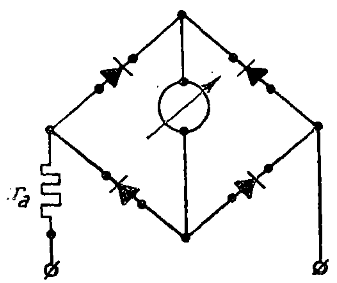


Fig. 117. Legarea aparatului indicator într-o schemă cu redresarea ambelor alternanțe.

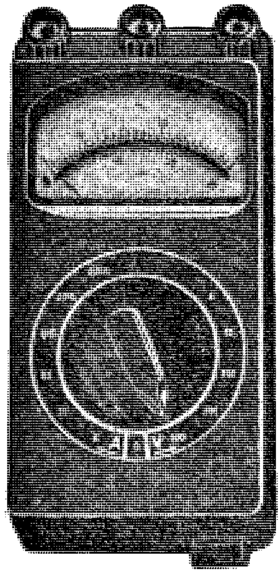


Fig. 118. Aspectul exterior al unui voltampermetru pentru măsurări în gama de curenți: 6 A la 3 mA și gama de tensiuni 6—600 V.

magneto-electric, — sau alternativi, cînd se folosește și redresorul. De asemenea, ele sînt construite pentru a funcționa cu mai multe sensibilități de curent (fiind prevăzute cu diferite șunturi) — sau de tensiune, rezistențele adiționale corespunzătoare fiind montate în cutia aparatului (fig. 119). Aceste aparate au dimensiuni reduse, fiind portative și ușor de manipulat (fig. 118).

Un aparat cu redresor are diviziunile scării aproape egal depărtate între ele, iar pe cadranul său este tipărit un semn de recunoaștere special. Precizia unor asemenea aparate este destul de redusă, ele intrînd în general în clasa de precizie 1,5.

2. **Aparate cu termocuplu.** Funcționarea acestor aparate se bazează pe măsurarea, cu un aparat magnetoelectric, a forței electromotoare produse de unul sau de mai multe termocupluri,

încălzite de curentul din circuitul în care se execută măsurarea (fig. 120). *Aceste aparate pot fi folosite atît în curent continuu, cît și în curent alternativ.*

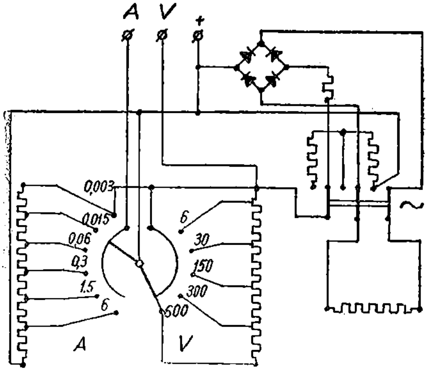


Fig. 119. Schema interioară a unui volt-ampermetru cu redresor cu mai mute sensibilități.

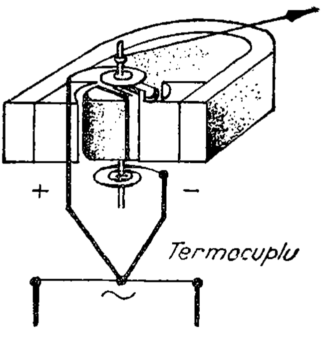


Fig. 120. Principiul de construcție a unui aparat magnetoelectric cu termocuplu.

Ele prezintă, însă, o serie de dezavantaje, care le fac puțin utilizabile : nu suportă suprasarcini, au o durată mică de funcționare a termocuplurilor, necesită dispozitive de măsurare de foarte mare sensibilitate, iar indicațiile lor sînt dependente de temperatura mediului.

Scara unui asemenea aparat este neuniformă, fiind asemănătoare cu scara aparatelor termice cu fir cald.

3. **Aparate electronice.** Aparatele electronice, folosite pentru măsurarea mărimilor alternative, utilizează pentru redresarea curentului alternativ — unul sau mai multe tuburi electronice. Dispozitivul de măsurat este, ca și în cazurile precedente, tot un aparat cu magnet permanent și cu cadru mobil.

Folosind acest principiu, s-au construit voltmetre, ampermetre, ohmmetre, wattmetre, frecvențmetre sau aparate de comparație. Dintre acestea, cele mai răspîndite sînt voltmetrele electronice. Există numeroase scheme pentru realizarea voltmetrelor electronice. În fig. 121 este reprezentată o asemenea schemă ; tensiunea de măsurat se aplică la bornele *AB* ale aparatului.

În fig. 122 este dat aspectul exterior al unui voltmetru electronic.

Voltmetrele electronice sînt utilizate, în special, pentru măsurarea tensiunilor mici (de la fracțiuni de volt pînă la cîțiva volți) din circuitele de curent alternativ de joasă sau de înaltă frecvență.

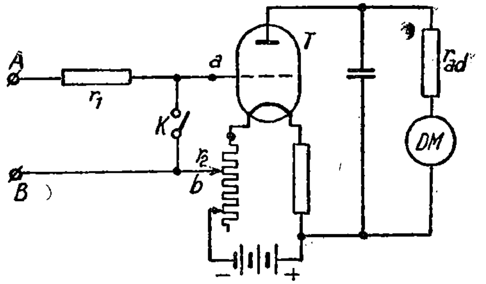


Fig. 121. Schema interioară a voltmetrului electronic:

DM — dispozitivul de măsurat; T — tub electronic.

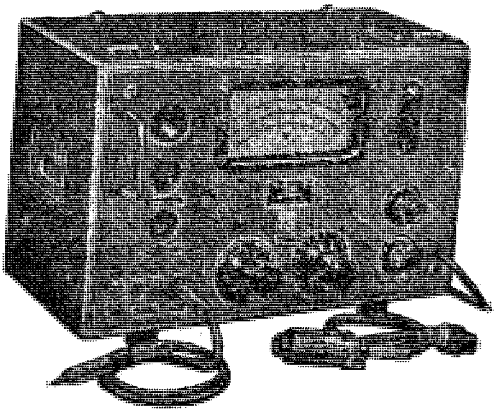


Fig. 122. Aspectul exterior al unui voltmetru electronic.

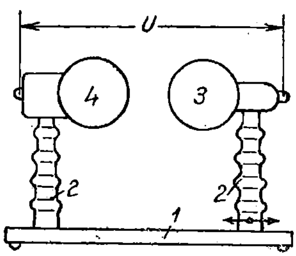


Fig. 123. Eclatorul cu sfere:

1 — suport; 2 — izolatoare; 3, 4 — sfere; U — tensiunea aplicată.

În ultimul timp s-a reușit să se construiască voltmetre electronice pentru măsurarea tensiunilor pînă la cîteva sute de volți: 300 V în curent continuu și 100 V în curent alternativ.

Avantajele voltmetrelor electronice sînt: sensibilitate mare și consumație practic nulă. Prezintă însă și dezavantaje: precizie mică (3,0—10%), dependența indicațiilor de forma curbei de tensiune aplicată; ele necesită o sursă de alimentare și cer reetalonare la înlocuirea tuburilor electronice.

4. **Eclatorul cu sfere.** Măsurarea tensiunilor foarte mari (de sute de mii de volți sau chiar de milioane de volți) se face cu un aparat numit *eclator cu sfere,* a cărui funcționare se bazează pe proprietatea pe care o au straturile de aer de aceeași grosime (utilizate ca dielectric) de a fi străpunse întotdeauna de o aceeași tensiune electrică (bineînțeles cînd condițiile fizice ale aerului nu se schimbă).

Eclatorul cu sfere, numit și *spintermetru,* este un aparat alcătuit din două sfere conducătoare de același diametru, așezate la o distanță reglabilă, între care se amorsează un arc electric, datorit însăși tensiunii de măsurat (fig. 123). Valoarea tensiunii de amorsare depinde de distanța dintre sfere și de condițiile atmosferice (temperatura și presiunea aerului).

În cazul curentului alternativ, eclatorul cu sfere măsoară valoarea maximă a undei de tensiune.

Sferele eclatorului sînt confecționate din alamă, bronz, oțel, cupru, aluminiu sau aliaje ușoare. Diametrul lor crește în raport cu tensiunea maximă pe care trebuie să o măsoare, de la 2 pînă la 200 cm; sferele avînd diametrul de 200 cm se utilizează la măsurarea tensiunilor de peste 3000 kV. Distanța dintre sfere trebuie să nu depășească diametrul sferei, ea trebuie să fie mai mică decît 0,75 D, D fiind diametrul sferei. Pentru măsurări de precizie mai mare, distanța dintre sfere trebuie să fie sub 0,5 D.

Eclatorul cu sfere este folosit pentru:

a) măsurarea unei tensiuni date;

b) reglarea valorii tensiunii.

În primul caz, sferele eclatorului sînt așezate la o distanță suficient de mare pentru ca arcul să nu poată lua naștere. Printr-un dispozitiv special se apropie încet sferele pînă în momentul cînd se produce arcul. Se citește, pe o riglă gradată, distanța dintre sfere și se deduce din tabele (v. STAS 3811-53 și tabela 9) tensiunea corespunzătoare.

În al doilea caz, distanța dintre sfere se reglează pînă la valoarea corespunzătoare tensiunii dorite și se mărește tensiunea pînă în momentul cînd se produce arcul. Creșterea tensiunii este urmărită și cu un voltmetru montat în primarul transformatoru-

Tensiunea de amorsare, în kV, pentru eclatoarele avînd ambele sfere izolate

Distanţa *s* cm	Pentru diametrul sferelor *D*, în cm						
	2	5	6,25	10	12,5	15	25
0,05	2,4	—	—	—	—	—	—
0,1	4,4	—	—	—	—	—	—
0,15	6,3	—	—	—	—	—	—
0,2	8,2	8,0	—	—	—	—	—
0,3	11,6	—	—	—	—	—	—
0,4	14,9	14,3	14,2	—	—	—	—
0,5	18,1	—	—	16,9	16,7	16,5	—
0,6	21,2	20,4	20,2	—	—	—	—
0,7	24,1	—	—	—	—	—	—
0,8	26,9	26,4	26,2	—	—	—	—
0,9	29,5	—	—	—	—	—	—
1	32,0	32,2	32,0	31,6	31,5	31,3	31
1,2	36,7	37,8	37,6	—	—	—	—
1,4	41,2	43,3	43,2	—	—	—	—
1,5	—	—	—	45,8	45,7	45,5	45
1,6	(45,2)	48,5	48,6	—	—	—	—
1,8	(48,7)	53,5	53,9	—	—	—	—
2	(51,8)	58,3	59,0	59,3	59,4	59,2	59
2,2	—	62,8	63,9	—	—	—	—
2,4	—	67,3	68,6	—	—	—	—
2,5	—	69,4	70,9	72,4	72,6	72,9	72
3	—	79,3	81,8	84,9	85,4	85,8	86
3,5	—	88,3	91,8	96,5	97,7	98,4	—
4	—	(96,4)	101	107	110	111	113
4,5	—	(104)	109	118	121	123	—
5	—	(111)	(117)	126	132	134	138
5,5	—	—	(124)	137	142	145	—
6	—	—	(131)	146	152	155	162
6,5	—	—	—	155	161	165	—
7	—	—	—	163	170	175	185
7,5	—	—	—	170	179	185	—
8	—	—	—	(177)	187	194	207
9	—	—	—	(191)	203	211	228
10	—	—	—	(203)	(217)	227	248
11	—	—	—	—	(229)	242	267
12	—	—	—	—	(241)	(256)	286
13	—	—	—	—	—	(268)	303
14	—	—	—	—	—	(280)	320
15	—	—	—	—	—	(292)	336
16	—	—	—	—	—	—	352
18	—	—	—	—	—	—	381
20	—	—	—	—	—	—	(407)
22	—	—	—	—	—	—	(431)
24	—	—	—	—	—	—	(452)
25	—	—	—	—	—	—	(463)

lui de alimentare a instalației; tensiunea dorită este puțin mai mică decît cea la care s-a produs arcul.

În fig. 124 se poate vedea aspectul unui eclator cu sfere, montat într-un laborator de încercări de înaltă tensiune.

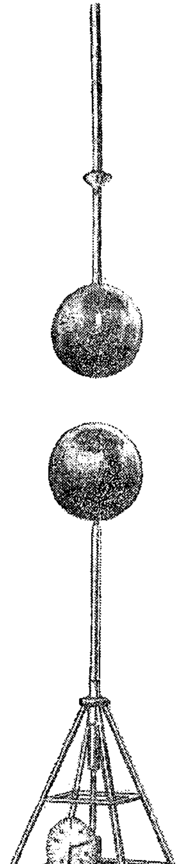


Fig. 124. Eclator cu sfere, cu comandă și citire de la distanță. Diametrul sferelor 1000 mm.

5. Aparate de sincronizare. Într-o centrală electrică există mai multe generatoare care produc energia electrică necesară consumatorilor. În scopul de a debita pe aceleași bare, generatoarele se leagă în paralel; pentru aceasta, însă, trebuie să fie îndeplinite anumite condiții.

Astfel, pentru a lega în paralel două generatoare de curent continuu, acestea trebuie să aibă aceeași polaritate și aceeași tensiune la borne.

În cazul generatoarelor de curent alternativ, condițiile sînt:

— aceeași ordine de succesiune a fazelor la ambele mașini.

— aceeași tensiune la borne,

— aceeași frecvență,

— concordanță de fază la ambele mașini.

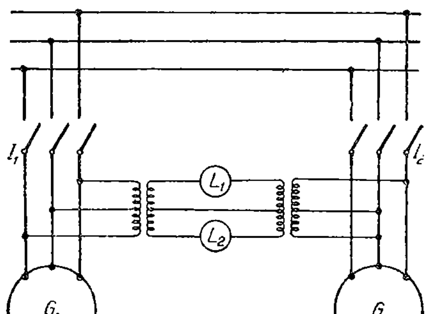


Fig. 125. Verificarea corespondenței fazelor la legarea în paralel a două generatoare de curent alternativ: L_1, L_2 — lămpi, I_1, I_2 — întrerupătoare.

Numai în cazul cînd toate aceste condiții sînt îndeplinite, cele două mașini pot fi legate în paralel. În cazul cînd una sau mai multe dintre aceste condiții nu sînt îndeplinite și totuși se

închide întrerupătorul pentru legarea lor în paralel, se pot produce accidente destul de grave, care pot duce chiar la distrugerea mașinilor. De aceea, *au fost construite aparate cu ajutorul cărora punerea în paralel a două sau mai multe mașini să se facă cu toată siguranța.* Pentru îndeplinirea condițiilor enumerate mai sus, — cu excepția primei condiții, care se realizează o dată pentru totdeauna la instalarea mașinilor în centrală — au fost construite aparate speciale. În adevăr, o dată cu instalarea unei mașini și înainte de a o lega la bare, se controlează — cu ajutorul unor lămpi sau al unui voltmetru — dacă fazele care se leagă la aceeași bară corespund (fig. 125). Între fazele presupuse aceleași se leagă cîte o lampă — direct sau prin intermediul unui transformator — după cum tensiunea alternatoarelor este mică sau mare. Se pun în funcțiune cele două alternatoare, aducîndu-le la aceeași frecvență și la aceeași tensiune.

Dacă lămpile L_1 și L_2 se aprind și se sting simultan, fazele corespund, astfel încît întrerupătorul poate fi închis. În caz contrar, trebuie să se inverseze legăturile a două faze. Este evident că, în cazul curentului alternativ trifazat, sînt suficiente numai două lămpi, deoarece dacă două faze corespund și a treia fază va corespunde.

a) *Voltmetrul dublu.* Îndeplinirea celei de-a doua condiții, adică egalitatea tensiunilor la bornele celor două mașini sau ale mașinii și ale rețelei, se verifică cu voltmetrele. Pentru ușurința citirii au fost construite voltmetre cu două sisteme de măsurare,

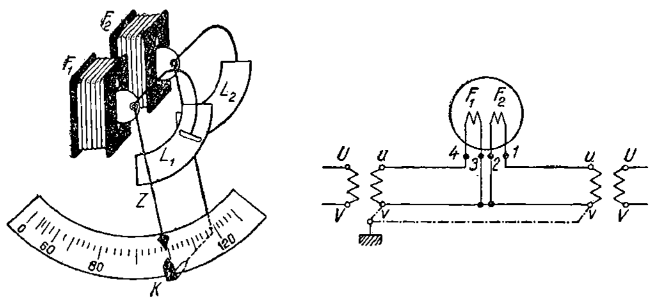


Fig. 126. Schema constructivă și schema de legare în circuit a voltmetrului dublu:

F_1, F_2 — cele două bobine ; Z — acul indicator al tensiunii generatorului ; K — acul indicator al tensiunii barelor ; 1—4 bornele voltmetrului dublu ; U, V, u, v — bornele înfășurărilor primară și secundară ale transformatoarelor de tensiune.

avînd un singur cadran (fig. 126). Unul dintre sistemele de măsurare se leagă la rețea sau la barele centralei, iar al doilea — la bornele mașinii care trebuie legată în paralel. De obicei, la

bare se leagă sistemul al cărui ac indicator este mai gros și se mișcă pe partea de jos a scării. Acest ac se așază în dreptul diviziunii corespunzătoare tensiunii barelor. Electricianul va varia tensiunea la bornele alternatorului, căutînd a menține tot timpul cele două ace indicatoare ale voltmetrului unul în fața celuilalt. Acest aparat se numește *voltmetru dublu.*

b) *Frecvențmetrul dublu.* Îndeplinirea celei de-a treia condiții, adică egalitatea frecvențelor, se verifică cu frecvențmetrele. Ca și în cazul precedent, pentru a se ușura activitatea electricianului de tablou, cele două frecvențmetre se construiesc într-un singur aparat, lamelele vibrante fiind așezate față în față. În modul acesta, electricianul poate face ca frecvența mașinii care trebuie legată la rețea să varieze, egalînd-o, în orice moment, cu frecvența rețelei. Construcția acestui aparat, numit frecvențmetru dublu, nu prezintă nici o particularitate față de frecvențmetrul obișnuit.

c) *Sincronoscopul cu lămpi și sincronoscopul cu ac indicator.* Cea mai importantă dintre condițiile de punere în paralel a două alternatoare este aceea a coincidenței de fază. Această coincidență de fază se produce un timp extrem de scurt. Dacă se reprezintă curbele tensiunilor celor două mașini (fig. 127), la care se presupune că amplitudinile sînt egale (ambele mașini au aceeași tensiune), dar că frecvențele lor diferă puțin (turațiile celor două

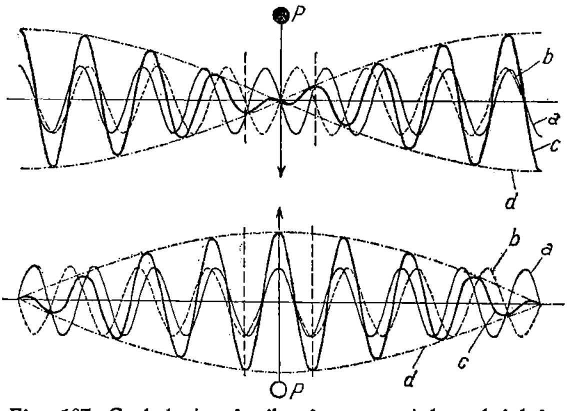


Fig. 127. Curbele tensiunilor în momentul cuplajului: *a* – curba tensiunii inverse a rețelei; *b* – curba generatorului de cuplat; *c* – curba tensiunii rezultante; *d* – curba bătăilor tensiunii rezultante.

mașini nu sînt perfect egale) și dacă se compune în fiecare moment tensiunea de la bornele mașinii care trebuie legată în paralel cu tensiunea celeilalte mașini sau a rețelei, se obține o altă

curbă, a cărei amplitudine nu mai este constantă, ci variază de la zero pînă la o valoare egală cu dublul tensiunii rețelei, scăzînd apoi iar la zero etc. Această variație a tensiunii rezultante se numește bătaia tensiunii rezultante. Se spune că între tensiunile celor două mașini au loc bătăi. Legarea celor două alternatoare trebuie să se facă numai atunci cînd curba bătăilor trece prin valoarea zero. Dacă legarea s-ar face în alt moment decît acesta, la închiderea întrerupătorului ar putea avea loc deteriorarea mașinilor ; în cazul cînd legarea s-ar face în momentul cînd are loc cea mai mare bătaie, aceasta ar corespunde cu un scurtcircuit la bornele alternatoarelor.

Pentru a se determina cu precizie momentul în care trebuie închis întrerupătorul de cuplare a mașinilor au fost construite dispozitive și aparate numite *sincronoscoape*. Cel mai simplu sincronoscop îl constituie o lampă cu incandescență, legată la bornele întrerupătorului (fig. 128, *a*). În momentul coincidenței perfecte dintre fazele celor două mașini, tensiunea la bornele lămpii va fi nulă. Lampa va rămîne „stinsă". Cînd cele două tensiuni nu mai coincid în ce privește faza, diferența de tensiune la bornele lămpii va crește, iar lampa se va aprinde, dînd luminozitatea maximă în momentul bătăii maxime ; apoi, întrucît tensiunea la bornele lămpii scade, luminozitatea lămpii va descrește pînă cînd lampa se va stinge etc. Alternatorul va fi, deci, cuplat la rețea, în momentul stingerii lămpii. Din această cauză, această cuplare se mai numește și cuplare prin stingere.

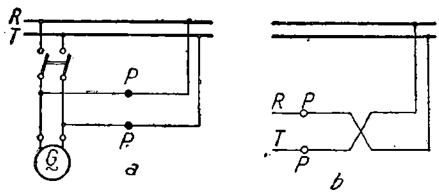


Fig. 128. Montaj pentru sincronizare:
a — cuplarea la stingerea lămpii ; *b* — cuplarea la luminozitatea maximă.

Dacă lampa se leagă ca în fig. 128, *b* la bornele lămpii nu va fi diferența dintre cele două tensiuni, ci suma lor, astfel încît, în momentul coincidenței fazelor va corespunde cu cea mai mare valoare a bătăii. Alternatoarele vor fi legate în momentul cînd luminozitatea lămpii va fi maximă. Acest mod de legare se numește legare „prin aprindere".

Deoarece nici stingerea și nici aprinderea lămpilor nu pot fi apreciate cu exactitate, astfel încît alternatoarele să fie legate exact cînd trebuie, lămpile au fost înlocuite prin voltmetre — voltmetrul de zero (în cazul legării prin stingere) sau voltmetrul de maxim (în cazul legării prin aprindere). Aceste aparate au diviziunile cele mai mari în apropierea diviziunii zero sau în apro-

pierea diviziunii corespunzătoare valorii nominale a tensiunii, astfel încît momentul închiderii întrerupătorului să poată fi apreciat cît mai bine.

Sistemele descrise mai sus sînt folosite mai ales în cazul mașinilor monofazate.

Sistemul cu lămpi pentru legarea prin stingere poate fi folosit și în cazul mașinilor trifazate, conectîndu-se la bornele întrerupătorului, pe fiecare fază, cîte o lampă. Lămpile se vor stinge și se vor aprinde toate deodată. Dacă, însă, la două dintre lămpi legăturile se fac între faze diferite (fig. 129), atunci cele trei lămpi se vor aprinde una după alta și anume, într-un sens sau într-altul, după cum mașina care urmează să fie legată se rotește prea repede sau prea încet (frecvența sa este mai mare sau mai mică decît frecvența rețelei). Rezultă, deci, că — în cazul curenților trifazați — sincronoscopul arată și cum trebuie să se regleze viteza mașinii pentru ca aceasta să poată fi legată la rețea. Alternatoarele se leagă la rețea în momentul cînd lampa legată pe aceeași fază rămîne stinsă. Sincronoscopul cu lămpi se mai numește și sincronoscop cu foc învîrtitor.

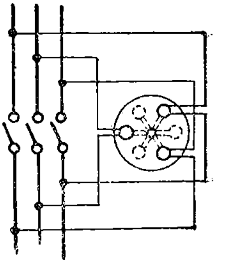


Fig. 129. Schema de legare la rețea a unui sincronoscop cu lămpi.

În practică, sincronoscopul cu lămpi este construit cu șase lămpi, legate două cîte două în paralel și așezate pe același diametru. Lămpile sînt acoperite cu un glob conic de sticlă translucidă. În acest mod, umbra și lumina vor avea întotdeauna o anumită poziție, în momentul sincronismului fiind perpendiculare. În caz contrar, acestea se rotesc spre dreapta sau spre stînga, după cum frecvența este mai mare sau mai mică.

Mișcarea umbrelor nu poate fi observată decît atunci cînd diferența dintre cele două frecvențe nu este mai mare decît $\pm 5\%$.

De exemplu, dacă frecvența rețelei este 50 Hz, frecvența alternatorului trebuie să nu fie mai mică de 47,5 Hz sau mai mare de 52,5 Hz, pentru ca sincronoscopul să sesizeze diferența.

Sincronoscopul cu lămpi este folosit, în general, în centralele mici. Pentru a se putea face observații precise, sincronoscopul trebuie așezat în umbră.

În centralele mari, unde precizia pentru legarea alternatoarelor trebuie să fie mai mare, sincronoscopul cu lămpi nu poate fi folosit. A fost construit un sincronoscop cu ac indicator (fig. 130).

Acul sincronoscopului se rotește într-un sens sau într-altul, după cum viteza mașinii care trebuie cuplată este mai mare sau

mai mică decît viteza de sincronism, arătînd — deci — și modul cum trebuie reglată viteza mașinii pentru a se obține sincronismul. În momentul sincronismului, acul rămîne fix în poziția verticală, indicată printr-un index sau trece foarte încet prin fața acestui index. Întrerupătorul se închide întotdeauna atunci cînd acul trece prin dreptul indexului în direcția „prea repede"; în aceste condiții, alternatorul poate primi imediat sarcină.

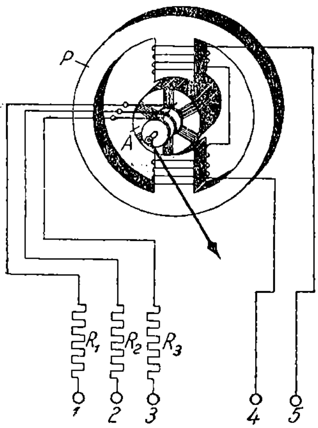


Fig. 130. Principiul de construcție al unui sincronoscop cu ac indicator.

P — miez de fier;
A — indus mobil.

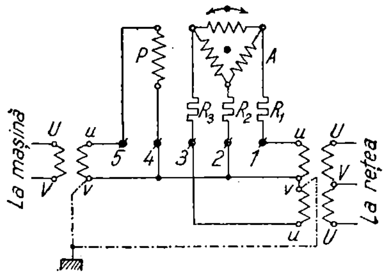


Fig. 131. Montajul unui sincronoscop trifazat:

R_1, R_2, R_3 — rezistențe adiționale; 1–5 — bornele sincronoscopului.

Sincronoscopul cu ac indicator este alcătuit dintr-un stator fix (*P*), construit din tole de fier moale și prevăzut cu doi sau patru poli, pe care sînt așezate bobinele de magnetizare (fig. 130), și dintr-un rotor *A* pe care se află o înfășurare trifazată — capabil să se rotească între polii statorului. Înfășurarea trifazată a rotorului (*1,2,3*) se leagă la rețea sau la bornele mașinii aflate în funcțiune; înfășurarea monofazată a statorului (*4,5*) se leagă la două faze ale mașinii care trebuie cuplată (fig. 131). Mișcarea acului indicator are loc datorită acțiunii dintre cele două cîmpuri magnetice — al statorului și al rotorului. Această mișcare nu are loc decît atît timp cît între frecvența rețelei și cea a alternatorului există o diferență; viteza de rotație a acului indicator este cu atît mai mare cu cît această diferență este mai mare. Pentru a se putea face o citire, această diferență trebuie să nu fie mai mare decît ±5%, ca și în cazul sincronoscopului cu lămpi. Pentru aceasta, sincronoscopul nu se leagă la rețea, decît atunci cînd mașina de legat este aproape de sincronism, fapt care poate fi constatat cu frecvențmetrul dublu.

Pentru ușurarea cuplării în paralel a alternatoarelor, toate aparatele necesare sincronizării se reunesc într-un singur complet. Acest complet de aparate este așezat pe pupitrul de comandă sau pe tabloul general, foarte aproape de diversele comenzi (excitație și viteza mașinii), foarte vizibil și putînd fi orientat în diverse direcții.

În centralele electrice moderne, în afară de aparatele de sincronizare manuală, sînt astăzi instalate instalații de sincronizare automată. Descrierea lor iese însă din cadrul acestei lucrări.

CAPITOLUL VII

APARATE ÎNREGISTRATOARE

1. Aparatele electrice de măsurat cu ac indicator arată în orice moment situația funcționării instalațiilor. Astfel, cu ajutorul lor se poate măsura tensiunea unei rețele, puterea debitată de un generator, valoarea curentului absorbit sau factorul de putere al unui receptor etc. Dacă este necesar să se știe cum a variat una din aceste mărimi într-o anumită perioadă de timp, trebuie să se înscrie în tabele datele obținute la fiecare măsurare și apoi, folosind aceste date, să se traseze diagrame care să redea variația în funcție de timp a mărimii urmărite. Acest procedeu, deși destul de simplu, nu poate fi folosit, practic, atunci cînd trebuie urmărite mai multe mărimi, deoarece răpește destul de mult timp.

Pentru obținerea directă a acestor diagrame au fost construite aparate care înregistrează variația în timp a diferitelor mărimi; aceste aparate se numesc înregistratoare.

Un aparat înregistrator este alcătuit din două părți principale:

a) aparatul de măsurat propriu-zis;

b) dispozitivul de înregistrare, ale cărui elemente principale sînt penița înregistratoare și dispozitivul de deplasare uniformă a hîrtiei pe care se fac înregistrările.

2. Aparatele înregistratoare se pot clasifica în funcție de sistemul de înregistrare astfel:

a) aparate cu înregistrare continuă;

b) aparate cu înregistrare prin puncte.

Primele se folosesc în cazul cînd valorile mărimilor care trebuie măsurate sînt destul de mari, astfel încît să poată produce un cuplu suficient pentru a mișca echipajul mobil (care poartă penița de înregistrare — ce se deplasează în permanență pe hîrtia pe care se fac înregistrările). Cele din categoria a doua se folosesc în cazul cînd valorile mărimilor de măsurat sînt foarte

mici și, deci, nu dau cupluri capabile de a mișca și penița de înregistrare; se folosesc și în cazul cînd aparatul înregistrator trebuie să aibă o precizie mai mare.

A. Aparate cu înregistrare continuă

Aparatele cu înregistrare continuă sînt folosite, în mod obișnuit, în industrie.

1. Aparatul de măsurat se bazează pe principiile de construcție a aparatelor cu ac indicator și aparține unui sistem de funcționare care corespunde scopului urmărit. Se folosesc, deci, sisteme magnetoelectrice, în cazul măsurării mărimilor în curent continuu, sisteme electromagnetice, în cazul măsurării mărimilor alternative, sisteme electrodinamice, în cazul măsurării puterilor etc. Construcția aparatului de măsurat este, însă, mai robustă, aparatul producînd un cuplu mai mare, capabil să învingă frecările peniței pe hîrtie. Din aceste motive, consumația proprie a acestor aparate este mai mare, iar din cauza frecării peniței pe hîrtie precizia acestor aparate este foarte mică, eroarea lor fiind, în general, de ±2%. Deci, aparatele înregistratoare fac parte din clasa de precizie 2.

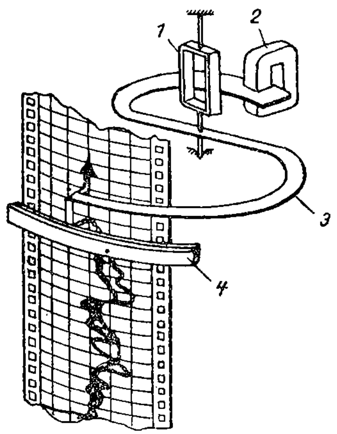


Fig. 132. Principiul înregistrării continue:

1 – echipajul mobil al aparatului; 2 – magnet permanent; 3 – ac indicator în formă de *S*; 4 – rezervor cu cerneală.

Aparatele înregistratoare au fixat de echipajul mobil un ac indicator pe al cărui capăt este montată o peniță (fig. 132), ce înscrie pe o bandă de hîrtie variația mărimii de măsurat.

2. Dispozitivul de înregistrare este alcătuit din penița de înregistrare, banda de hîrtie pe care se fac înscrierile și mecanismul de mișcare a benzii de hîrtie.

a) Penițele au diferite forme (fig. 133) în funcție de fabrica constructoare. În general, însă, ele nu pot fi decît de două tipuri distincte: cu rezervor (fig. 133, *b*) și cu tub capilar.

Penița cu rezervor poate fi de două feluri: tubulară-conică sau cu tăietură.

Penița conică are forma unui con (fig. 133, *a*), avînd în vîrf o deschizătură circulară foarte mică, cu diametrul de circa

0,07 mm. Urma lăsată de această peniță este destul de groasă și continuă, chiar la mișcări foarte rapide ale acului. Penița cu tăietură (fig. 133, *c*) are forma unei piramide triunghiulare cu vîrful în jos. Una dintre muchiile acestei piramide are o tăietură foarte fină. Datorită efectului de capilaritate, cerneala se ridică prin tăietură, pînă în vîrful care se mișcă pe hîrtie. Urma lăsată de această peniță este foarte subțire, însă durata ei de scriere este cam de două ori mai mare decît cea a peniței conice. Din această cauză, acest fel de peniță nu poate fi folosită decît acolo unde variațiile sînt destul de rare și încete (de exemplu la înregistrarea variațiilor debitului cazanelor de abur). În cazul variațiilor rapide, penița nu are timp să scrie, astfel încît diagrama apare incompletă. Penița cu tub capilar (fig. 133, *d*) este alcătuită dintr-un tub capilar de sticlă, îndoit în unghi drept, unul dintre capete frecîndu-se pe hîrtie, iar celălalt fiind cufundat într-un rezervor cu cerneală. Rezervorul cu cerneală trebuie să fie corespunzător cursei acului indicator, astfel încît tubul capilar să se găsească în permanență cu un capăt în cerneală. Penița cu tub capilar prezintă aceleași dezavantaje ca și penița cu tăietură.

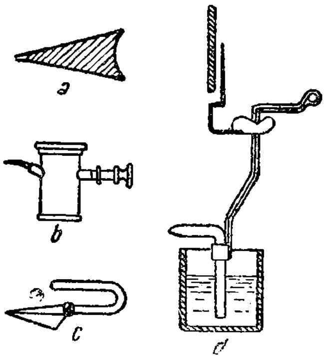


Fig. 133. Penițe de înregistrare:
a – peniță conică; *b* – peniță cu rezervor; *c* – peniță cu tăietură; *d* – peniță cu tub capilar.

Rezultă, deci, că în general numai penița cu rezervor conic este aceea care poate fi folosită pentru orice fel de înregistrări [1]).

În ce privește cerneala cu care se fac înregistrările, aceasta trebuie să îndeplinească, în primul rînd, condiția de a nu se usca în peniță; în al doilea rînd, ea trebuie să fie destul de fluidă, pentru ca să poată înscrie toate variațiile date de mișcările acului, oricît de rapide ar fi ele. În general, se folosește o cerneală specială, în compoziția căreia intră glicerina.

b) Banda de hîrtie pe care se fac înscrierile se confecționează dintr-o hîrtie care să poată suge repede cerneala, fără însă a se păta. Hîrtia — a cărei lățime este standardizată — are pe margini un rînd sau două de perforații, în care intră dinții mecanismului de antrenare. Hîrtia este imprimată cu liniaturi orizontale și ver-

---

[1]) Mai există și alte mijloace de înregistrare (stilet, dîră luminoasă, creion etc.), asupra cărora nu insistăm aici.

ticale astfel încît să se formeze diagrame care să aibă în ordonată timpul, iar în abscisă — mărimea care se urmărește.

c) Mecanismul de antrenare al benzii de hîrtie poate fi de două feluri : cu mișcarea continuă sau cu mișcare prin impulsuri, cînd mișcarea are loc numai la anumite intervale de timp, comandate de un dispozitiv special, după cum se va vedea mai jos. Mișcarea benzii de hîrtie este provocată de o roată dințată, care — în cazul mișcării continue — este pusă în funcțiune de un mecanism de ceasornicărie (fig. 134), prin mijlocirea altor roți dințate. Viteza de înaintare a hîrtiei poate varia între 3 și 240 mm pe oră, diferitele viteze obținîndu-se cu ajutorul roților dințate. În general, viteza hîrtiei din aparatele înregistratoare este de 20 mm/h. Mecanismul de antrenare a benzii este construit să funcționeze fără a fi întors o perioadă de 8 zile, adică cam tot atît timp cît durează și hîrtia. Mecanismul de ceasornicărie poate fi „întors" cu mîna, cu ajutorul unei pîrghii — sau automat, cu ajutorul unui motoraș electric (fig. 134). Banda de hîrtie se desfășoară de pe un sul mobil, așezat în partea superioară a aparatului (fig. 134); după ce s-a făcut înregistrarea, ea se înfășoară pe un sul, așezat în partea inferioară, care este mișcat de sistemul de ceasornicărie pentru antrenarea hîrtiei — cu ajutorul unei transmisii — sau de un mecanism de întindere a benzii (fig. 134).

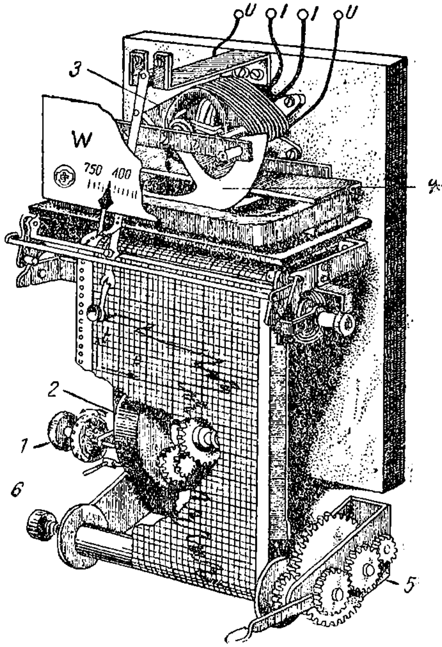


Fig. 134. Dispozitivul de măsurat al unui wattmetru înregistrator, construit pe principiul aparatelor electrodinamice cu fier (ferodinamice) :

1 — mecanism de antrenare a benzii ; 2 — motor electric cu turație mică ; 3 — aparat de măsurat ferodinamic ; 4 — amortizor ; 5 — mecanism de închidere a benzii ; 6 — întreruptor.

În cazul cînd, într-o instalație există o serie de aparate înregistratoare care trebuie să înregistreze simultan sistemul de ceasornicărie propriu al fiecărui aparat se înlocuiește printr-un

sistem central de comandă electric. Roata dințată G care antrenează hîrtia este comandată de un electromagnet M care acționează asupra altei roți dințate Z (fig. 135). Comanda tuturor electromagneților diferitelor înregistratoare este dată de un ceasornic cu contacte, care închide circuitul acestor electromagneți la intervale de timp fixate (fig. 136). Funcționarea acestui ceasornic este simplă. Roata dințată Z închide pe rînd contactele 1—2 și 2—3.

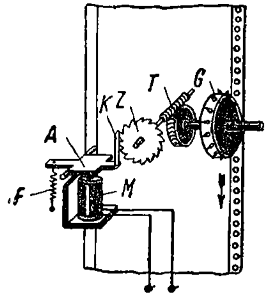


Fig. 135. Acționarea electrică a hîrtiei de înregistrare:
M — electromagnet; A — armătură; F — resort; K — clichet; Z — roata dințată; T — șurub fără sfîrșit; G — roata pentru antrenarea hîrtiei.

Aceste contacte pun în funcțiune un releu auxiliar, care închide circuitele electromagneților. Prin mișcarea roții dințate Z și, deci, a contactelor 1—2 și 3—4, care se închid și se deschid succesiv, releul auxiliar închide și deschide mereu circuitele electromagneților, provocînd astfel mișcarea benzii de hîrtie. Ceasornicele de contact se construiesc pentru a da impulsuri la 20 s sau la 60 s, ori și la 20 s și la 60 s, ceea ce se realizează cu ajutorul unor roți dințate (fig. 137). În modul acesta, se obțin viteze de desfășurare a hîrtiei între 20 și 60 mm/h.

Diferitele mecanisme de înregistrare ale acestor aparate înregistratoare se leagă în paralel cu bornele de comandă ale ceasornicului (fig. 138).

La un asemenea ceasornic pot fi legate pînă la 10 aparate înregistratoare diferite.

B. Aparate cu înregistrare prin puncte

La aceste aparate, înregistrarea se face cu ajutorul unei piese mobile F, numită etrier (fig. 139), care cade — la intervale de timp determinate — peste acul indicator, apăsîndu-l pe banda de hîrtie. În acest loc, hîrtia trece peste o creastă, astfel încît urma lăsată de ac este aproape un punct. Semnul se obține cu ajutorul unei benzi cu cerneală, asemănătoare cu benzile mașinilor de scris, bandă care este așezată între acul indicator și hîrtie sau între hîrtie și creastă.

Întrucît acul indicator este liber și deoarece nu există nici un fel de greutate sau de frecare suplimentară, aparatul construit după acest principiu este foarte precis. Curba înregistrată este destul de fină, dar prezintă dezavantajul că, în cazul variațiilor

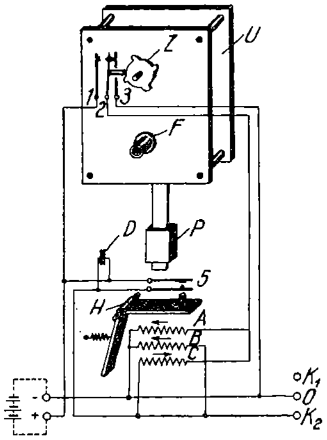


Fig. 136. Ceasornic cu contacte pentru înregistratoare cu impulsuri.

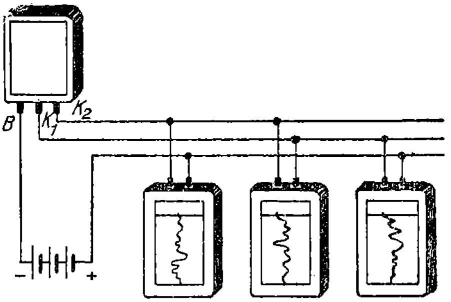


Fig. 138. Legarea aparatelor înregistratoare cu impulsuri la ceasornicul cu contacte.

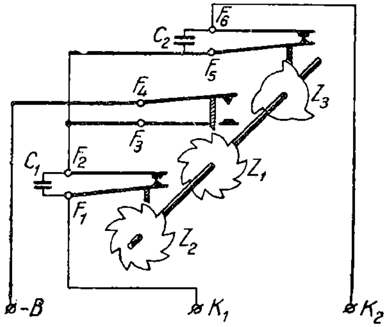


Fig. 137. Schema de trimitere a impulsurilor la ceasornicele cu contacte.

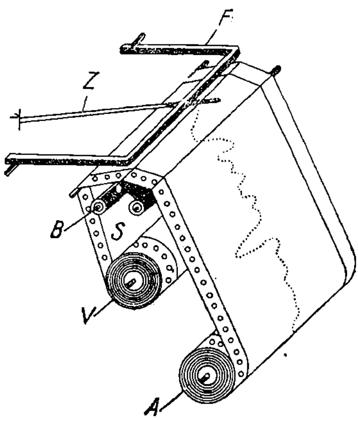


Fig. 139. Principiul de construcție al dispozitivului de înregistrare prin puncte:
F – etrier ; Z – ac indicator.

rapide, punctele sînt destul de depărtate unele de altele, astfel încît este necesară puţină îndemînare pentru trasarea curbei reale înregistrate.

Mecanismul de mişcare al benzii de hîrtie a acestor aparate este la fel cu cel al aparatelor cu înregistrare continuă.

C. Construcţia aparatelor înregistratoare

Aparatele înregistratoare se construiesc ca aparate de tablou sau ca aparate portative. Dat fiind că aparatul înregistrator trebuie să cuprindă, la un loc, atît aparatul de măsurat propriu-zis, cît şi dispozitivele de înregistrare, aparatele înregistratoare sînt mult mai voluminoase şi mai grele decît aparatele indicatoare.

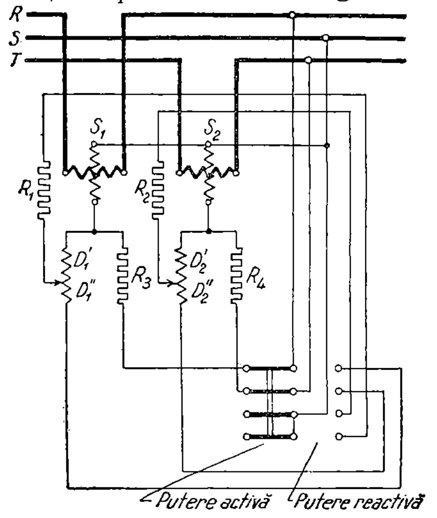


Fig. 140. Schema interioară a unui wattmetru varmetru înregistrator.

Din punct de vedere electric, dispozitivul de măsurat este corespunzător scopului urmărit. Ţinîndu-se seamă de faptul că indicaţiile acestui fel de aparat rămîn înscrise, se pot face combinaţii de mai multe aparate, astfel încît, pe aceeaşi bandă de hîrtie, să fie înscrise, în acelaşi timp, mai multe curbe. Astfel, a fost construit wattmetrul înregistrator de putere activă şi reactivă, aparat nelipsit din centralele moderne. Aparatul este construit pe principiul celor două wattmetre (figura 140).

Comutarea de la sistemul de măsurare a puterii active la sistemul de măsurare a puterii reactive se face în mod automat, cu ajutorul unui contactor bimetalic, care acţionează un comutator electromagnetic. Contactorul bimetalic trimite în fiecare minut un curent electric, cu durata de circa 6 s, pentru a excita comutatorul electromagnetic, care acţionează printr-un mecanism asupra unei roţi dinţate. Roata dinţată se învîrteşte complet în timp de 6 min. Acest dispozitiv cuplează sistemul de măsurare astfel încît timp de 4 minute să măsoare puterea activă şi timp de 2 minute — puterea reactivă, pentru ca cele două curbe să se distingă uşor, din cauza diferenţei dintre lungimile înregistrărilor.

CAPITOLUL VIII

OSCILOGRAFUL

Mărimile electrice — curent, tensiune, putere — care variază rapid în raport cu timpul nu pot fi urmărite cu ajutorul unui aparat magnetoelectric cu ac indicator ; aceasta deoarece un asemenea aparat nu va indica nimic, acul stînd pe poziția zero din cauza inerției echipajului mobil. Chiar dacă am presupune că inerția aparatului ar fi suficient de mică, astfel încît să poată urmări cu ușurință toate variațiile în timp ale mărimii pe care o studiem, totuși ar fi imposibil să urmărim cu ochiul mișcarea acului și să facem înregistrările respective. De asemenea, aceste variații nu pot fi înregistrate de vre-un aparat înregistrator obișnuit, inerția acestora și frecările peniței pe hîrtie făcîndu-le inutilizabile.

Pentru asemenea măsurători se folosește un aparat, de o construcție specială, numit *oscilograf*.

Oscilografele sînt deci niște aparate care permit fie observarea pe un ecran, fie fotografierea formei curbei de variație a mărimilor variabile în timp, în general curbele curenților și tensiunilor periodice alternative.

După principiul lor de funcționare oscilografele se împart în două mari categorii și anume :

a) *oscilografe electromecanice* (cu inerție) la care dispozitivul de măsură (echipajul mobil) are o anumită inerție ;

b) *oscilografe electronice* (fără inerție) la care dispozitivul de măsură este format de un fascicul de electroni.

Dacă oscilograful este lipsit de dispozitivul de înregistrare și permite deci numai observarea fenomenului, el se mai numește și *osciloscop*.

Oscilografele de tip electromecanic sînt utilizate la studierea mărimilor electrice care variază periodic, cu frecvențe pînă la 1—2 kHz, sau a mărimilor electrice aperiodice cu durată pînă la 1 milisecundă.

Oscilografele de tip electronic sînt utilizate la studierea mărimilor electrice periodice variabile cu frecvențe de la cîțiva herți pînă la cîțiva megaherți sau pentru studierea mărimilor electrice aperiodice cu durata foarte scurtă, pînă la fracțiuni de microsecundă.

A. Oscilograful electromecanic

1. Elementul de măsură al unui oscilograf electromecanic poate fi constituit pe oricare din principiile pe care se bazează construcția aparatelor de măsurat. Dintre acestea, sistemul cel mai răspîndit se bazează pe principiul de funcționare a aparatelor magnetoelectrice. Elementul de măsură al unui oscilograf electromecanic, numit *bucla oscilografului*, este constituit astfel

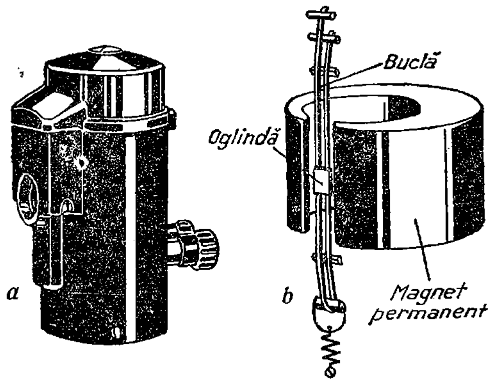


Fig. 141. Bucla de măsură a unui oscilograf electromagnetic:

a — aspectul exterior ; *b* — reprezentare schematică.

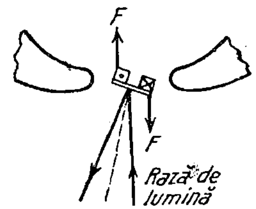


Fig. 142. Mișcarea buclei oscilografului.

(fig. 141): între polii unui magnet permanent, puternic, este așezată o buclă bine întinsă, confecționată dintr-o bandă de bronz ; în mijlocul acestei bucle este lipită o oglindă minusculă, avînd suprafața de aproximativ 1 mm^2. Întreg dispozitivul este introdus într-o cutie, confecționată dintr-un material plastic, umplută cu un ulei special (ulei de ricin), astfel încît bucla să nu sufere nici o influență exterioară, care ar putea să producă vibrații parazite, ce ar denatura înregistrările.

Un curent electric, străbătînd bucla, va străbate cele două laturi ale ei în sensuri contrarii astfel că interacțiunea ce se produce între curenții din cele două laturi și cîmpul magnetic este diferită. Sub acțiunea celor două forțe, egale și de sensuri contrare care apar, bucla, și odată cu ea și oglinda, se va roti într-un sens oarecare (fig. 142); dacă se schimbă sensul curentului în buclă, se va schimba și sensul de rotire a acesteia.

Dacă prin bucla respectivă trece un curent alternativ, mișcarea aceasta a buclei se traduce printr-o puternică vibrație a ei.

2. Vibrațiile buclei se fac vizibile cu ajutorul unui fascicol de raze de lumină care este trimis pe oglinda lipită pe buclă și este reflectat de aceasta pe un ecran. Pentru a obține o imagine cît mai clară, oscilograful este prevăzut cu un sistem optic format din diverse lentile, prizme și diafragme. Dacă ecranul este format dintr-o hîrtie fotografică sau dintr-o peliculă fotografică și este mișcat cu o viteză uniformă, spotul luminos obținut va înscrie pe hîrtie forma curbei mărimii electrice studiate (fig. 143).

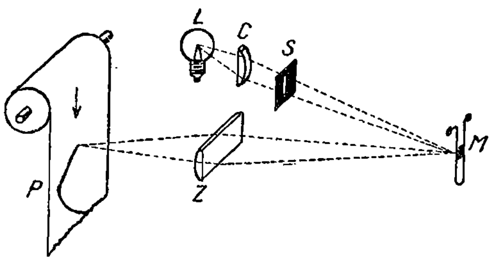


Fig. 143. Reprezentarea schematică a funcționării oscilografului cu înregistrare pe bandă de hîrtie fotografică.

Pentru efectuarea observărilor vizuale, fasciculul luminos reflectat de oglinda buclei de măsură este îndreptat spre un tambur prizmatic prevăzut cu oglinzi plane și care se rotește cu o viteză de sincronism corespunzătoare fenomenului studiat (fig. 144).

Raza de lumină astfel reflectată este trimisă pe un geam mat. Dacă bucla oscilografului stă pe loc (nu vibrează) dîra luminoasă ce apare pe ecran este perpendiculară pe direcția axei tamburului cu oglinzi și reprezintă *axa timpurilor* sau abscisa diagramei respective; dacă însă tamburul cu oglinzi este imobil și bucla oscilografului vibrează, imaginea luminoasă obținută pe ecran este paralelă cu direcția axei tamburului cu oglinzi și constituie *ordonata* diagramei obținute.

Cînd aparatul este bine sincronizat, imaginea ce apare pe ecran este fixă și se poate copia cu creionul pe o hîrtie de calc; în caz contrar, imaginea se deplasează de-a lungul axei absciselor, într-un sens sau altul, după cum viteza de sincronism a tamburului cu oglinzi este mai mare sau mai mică decît viteza fenomenului ce se studiază.

În acest mod este realizat osciloscopul electromecanic (fig. 145).

În oscilografele moderne, cele două sisteme de observație sînt combinate împreună (fig. 146); în acest mod, observatorul are posibilitatea să vadă curba mărimii cercetate și să o fotografieze la momentul cel mai potrivit.

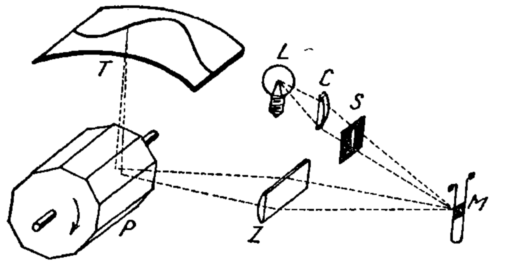


Fig. 144. Schema oscilografului pentru observații vizuale.

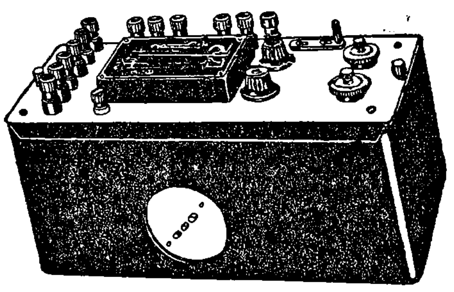


Fig. 145. Osciloscop electromecanic.

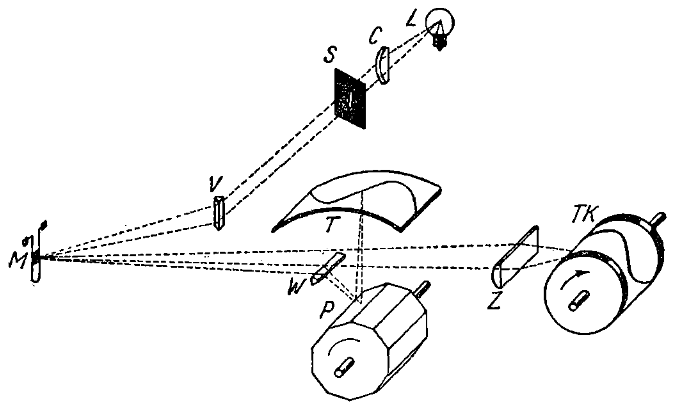


Fig. 146. Schema oscilografului universal.

3. Oscilografele moderne sînt realizate cu un număr mai mare de bucle de măsură (3, 6 sau 8), putîndu-se observa sau fotografia simultan variația mai multor mărimi electrice (fig. 147).

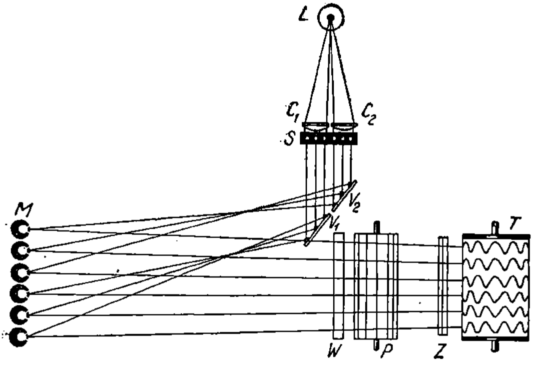


Fig. 147. Schema unui oscilograf cu șase bucle de măsură.

La aceste oscilografe, în afară de buclele de măsură, mai există o buclă cu ajutorul căreia se determină *scara timpului* și care pe peliculă sau pe hîrtia fotografică, imprimă o curbă auxiliară cu perioada cunoscută.

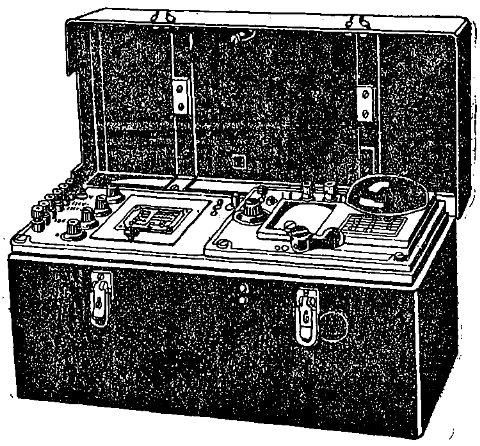


Fig. 148. Aspectul exterior al unui oscilograf cu mai multe bucle de măsură.

Toate elementele oscilografului sînt montate într-o cutie metalică în formă de valiză, avînd dimensiuni reduse (fig. 148).

4. Amplitudinea oscilațiilor buclelor de măsură este proporțională cu mărimea curentului ce le străbate; buclele sînt construite în general pentru un curent maximum de 100 mA. Dacă vrem să măsurăm curenți mai intenși, atunci alimentarea buclei se face prin intermediul unui șunt, ca și în cazul măsurării curenților intenși [1]) sau chiar printr-un transformator de măsură.

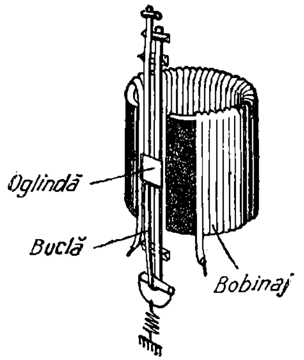


Fig. 149. Buclă de măsură pentru puteri.

Pentru studierea tensiunilor se conectează în serie cu bucla de măsură o rezistență adițională, neinductivă, asemănătoare rezistențelor adiționale ale voltmetrelor [2]). În acest caz, curentul care străbate bucla de măsură este proporțional cu valoarea instantanee a tensiunii și curba obținută reprezintă, la scara corespunzătoare, tensiunea aplicată la bornele buclei respective.

Pentru studierea puterii instantanee s-au construit bucle de măsură speciale (fig. 149) Acestea se deosebesc de buclele de măsură pentru curenți prin aceea, că magnetul permanent este înlocuit cu un electromagnet. Bobinajul acestui electromagnet constituie circuitul ampermetric al buclei de măsură și este construit să suporte un curent nominal de 5 A, putînd fi conectat și la secundarul unui transformator de curent.

Bucla propriu-zisă este străbătută de un curent proporțional cu tensiunea de la bornele circuitului la care se studiază curba puterii instantanee.

În măsurători de precizie, pentru a se evita influența transformatorului de curent, bucla de măsură pentru puteri se construiește cu bobina electromagnetului ca circuit de tensiune, legat la rețea în serie cu o rezistență adițională neinductivă; bucla de măsură propriu-zisă constituie elementul ampermetric care se cuplează la rețea prin intermediul unui șunt.

5. Curba obținută pe peliculă sau pe hîrtia fotografică se numește *oscilogramă* [3]) (fig. 150). Scara ordonatelor oscilogramelor se obține fie cu ajutorul sensibilității buclei de măsură,

---

[1]) V. cap. II par. A. 3.

[2]) V. cap. II par. B. 3.

[3]) Tot oscilogramă se numește și curba ce se obține prin desenarea directă pe hîrtia de calc.

după datele fabricii sau poate fi măsurată direct, trecîndu-se prin bucla de măsură o valoare cunoscută a mărimii care se studiază ; metoda arătată la urmă este cea mai indicată a fi utilizată în practică.

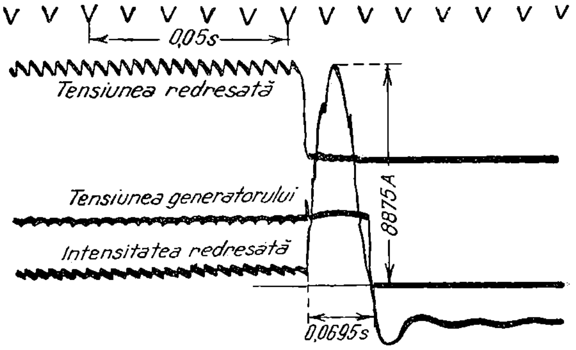


Fig. 150. Oscilogramă (scurtcircuit într-o rețea alimentată de un redresor).

Scara absciselor (scara timpurilor) se determină cu ajutorul curbei de timp înregistrată simultan pe bandă sau peliculă, curbă dată de bucla specială de marcare a timpului, așa cum s-a indicat mai înainte.

B. Oscilograful electronic

1. Oscilograful electronic este cunoscut în practică sub numele de *oscilograful catodic.*

Principiul de funcționare al acestui oscilograf este următorul : într-un tub, în care s-a făcut un vid foarte ridicat, sînt fixați

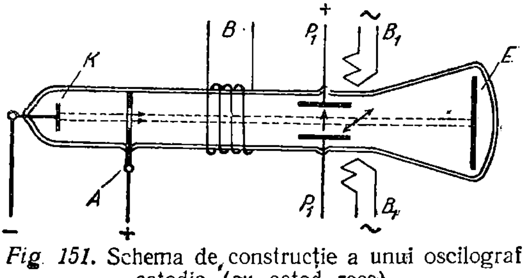


Fig. 151. Schema de construcție a unui oscilograf catodic (cu catod rece).

doi electrozi, un catod *K* și un anod *A* în formă de disc cu un orificiu circular central (fig. 151). Aplicînd o tensiune continuă între acești doi electrozi, cu polul pozitiv la anod și cu cel nega-

tiv la catod, între electrozi va apărea un flux de electroni. Aceștia se vor deplasa cu o anumită viteză, cu atît mai mare cu cît diferența de potențial între electrozi este mai mare, această viteză putînd ajunge pînă la 100 000 km/s. Majoritatea acestor electroni vor fi captați de anod ; unii dintre ei însă vor scăpa prin orificiul central al anodului și se vor propaga în linie dreaptă constituind un *fascicul de raze catodice.* Aceste raze catodice întîlnesc în drumul lor peretele *E,* care închide tubul ; izbirea electronilor de acest perete are drept consecință producerea unei fluorescențe ; dacă peretele este format dintr-un ecran de sticlă acoperit cu un strat dintr-o substanță numită *luminoforă* (de exemplu sulfura de zinc) atunci pe acest ecran apare o pată luminoasă ; dacă peretele suportă o placă fotografică sau o peliculă ori o hîrtie fotografică, acțiunea chimică a fasciculului de electroni este aceeași ca a luminii și placa fotografică este impresionată.

2. Se știe că razele catodice sînt deviate din drumul lor atît de cîmpul electric cît și de cîmpul magnetic, fapt evident, ele nefiind altceva decît un flux de electroni care sînt elemente de materie încărcate cu electricitate negativă. Utilizînd această proprietate, tubul este prevăzut cu o serie de dispozitive care îl fac utilizabil pentru măsurători. Astfel bobina *B* servește pentru concentrarea fasciculului de raze catodice, iar plăcile P_1, ca și bobinele B_1 cu axa perpendiculară pe axa tubului, servesc pentru devierea fasciculului de raze catodice proporțional cu mărimea de studiat ; o altă serie de dispozitive servesc pentru reglarea focală a fasciculului de raze catodice, pentru reglarea intensității lui etc.

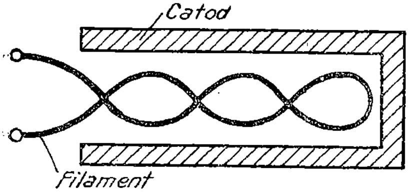


Fig. 152. Catod cald.

Tubul electronic, a cărui funcționare a fost descrisă mai înainte, se numește tub cu *catod rece,* fluxul de electroni producîndu-se numai din cauza acțiunii cîmpului electric ce rezultă din aplicarea tensiunii continue între catod și anod.

Producerea de electroni poate fi făcută și prin încălzire. În acest scop, catodul tubului electronic se execută sub forma unui cilindru, din oxizi de metale producătoare de electroni, în interiorul căruia se găsește filamentul de încălzire (fig. 152).

C. Oscilograful catodic cu catod cald

1. Funcționarea unui tub electronic cu catod cald necesită o tensiune redusă ce trebuie aplicată între catod și anod pentru a produce cîmpul necesar accelerării electronilor. Această tensiune

este de ordinul a cîtorva sute de volți. În aceste condiții, tubul electronic poate fi folosit pentru construirea oscilografelor cu dimensiuni nu prea mari, folosite în orice laborator de electrotehnică, fiind un aparat ușor, portativ (fig. 153).

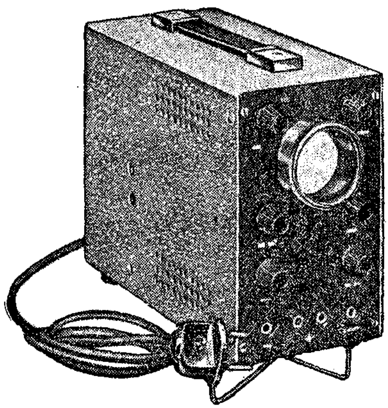


Fig. 153. Oscilograf catodic, cu catod cald, portativ.

Pentru ca tubul electronic să poată fi folosit ca oscilograf, este necesar să i se mai adauge încă o pereche de plăci P_2 avînd planul perpendicular [1] pe planul primelor plăci P_1 (fig. 154). Într-adevăr, deplasarea fasciculului electronic numai sub acțiunea cîmpului electric (sau magnetic) produs de mărimea de studiat, se produce numai într-un singur plan și anume, în planul desenului în cazul fig. 151. În aceste condiții, pe ecranul oscilografului va apărea numai o linie continuă verticală. Pentru a se obține o variație în funcție de timp a mărimii de studiat, este necesar să se producă deplasarea fasciculului electronic și într-un plan perpendicular pe primul. Aceasta se realizează dacă se aplică [2]) celei de a doua perechi de plăci P_2 o tensiune auxiliară care creează cîmpul electric necesar devierii fasciculului, numită *baza de timp*.

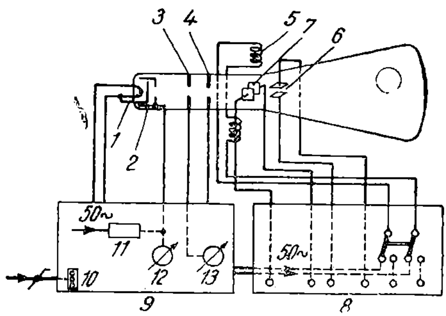


Fig. 154. Schema generală a unui oscilograf catodic cu catod cald:

1 – catod ; 2 – electrod de reglaj ; 3 – lentilă ; 4 – anod ; 5 – bobine de măsură (axa *y*) ; 6 – plăci de măsură (axa *y*) ; 7 – plăci pentru baza de timp (axa *x*) ; 8 – borne de conectare a curentului și tensiunii de măsurat ; 9 – partea de alimentare ; 10 – borne de conectare la rețea ; 11 – regulatorul de fază ; 12 – reglajul luminozității spotului ; 13 – reglajul fineței spotului.

---

[1]) Sau o pereche de bobine B_2 avînd axa perpendiculară pe direcția axei bobinelor B_1.

[2]) Sau celei de a doua perechi de bobine B_2 un curent auxiliar, care creează un cîmp magnetic auxiliar.

Această tensiune auxiliară are o formă specială, asemănătoare formei unui dinte de ferăstrău [1]).

2. Mecanismul producerii imaginii curbei mărimii de studiat pe ecranul oscilografului catodic este următorul (fig. 156): s-a văzut mai înainte că dacă se aplică unei perechi de plăci numai tensiunea de studiat, atunci pe ecran apare o linie — de obicei verticală ; dacă se aplică numai celei de a doua perechi de plăci tensiunea auxiliară, atunci pe ecran va apărea tot o linie, perpendiculară pe prima, de obicei orizontală. Într-adevăr, în momentul inițial t_1 tensiunea în dinți de ferăstrău este nulă și din acest moment ea începe să crească proporțional cu timpul, atingînd valoarea sa maximă la sfîrșitul perioadei mărimii de studiat [2]). Sub acțiunea cîmpului electric produs de această tensiune, fasciculul de electroni se deplasează și spotul produs de acesta pe ecran se va deplasa cu o viteză uniformă, descriind dreapta a_1a_5 (fig. 156, c). În acest moment valoarea sa scade brusc la zero și spotul luminos revine în a_1.

Aplicînd acum, în același timp, ambele tensiuni, respectiv pe fiecare din plăci, fasciculul electronic va fi supus acțiunii cîmpurilor produse de cele două tensiuni ; în consecință el se va deplasa sub acțiunea rezultantei celor două cîmpuri și spotul luminos produs pe ecran va urmări variația curbei mărimii studiate. Cele două tensiuni fiind sincronizate, spotul va descrie mereu aceeași curbă. Datorită inerției luminoase a ecranului, pe acesta va apărea, stabilă, imaginea curbei mărimii studiate.

---

[1]) Pentru obținerea tensiunii în „dinți de ferăstrău" se utilizează montaje speciale cu tuburi electronice, spre exemplu un tiratron sau o lampă cu neon (fig. 155). Aplicînd condensatorului tensiunea U, acesta se încarcă pînă

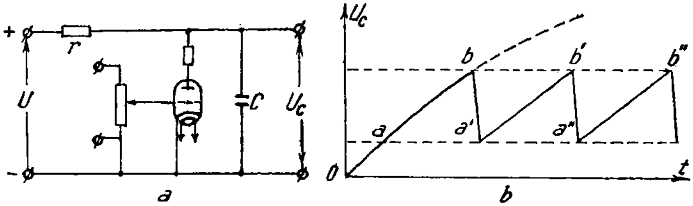


Fig. 155. Schema de montaj pentru obținerea unei curbe de tensiune în dinți de fierăstrău.

în momentul cînd atinge tensiunea U_1 ($U_1 < U$) de amorsare a tiratronului ; din acest moment condensatorul se descarcă pe tiratron și tensiunea sa scade brusc pînă la tensiunea U_2 ($U_2 < U_1$) de desamorsare a tiratronului, cînd condensatorul începe din nou să se încarce, fenomenul reproducîndu-se mereu în același mod. Amplitudinea curbei de tensiune se reglează prin modificarea potențialului grilei tiratronului, iar frecvența prin modificarea capacității condensatorului.

[2]) Se presupune că oscilograful este sincronizat.

3. Dacă pe a doua pereche de plăci, în loc să se aplice o tensiune auxiliară în formă de dinți de ferăstrău, se aplică o tensiune periodică sinusoidală, avînd aceeași perioadă ca și a mărimii de

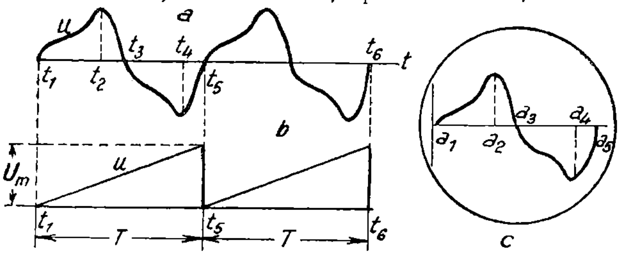


Fig. 156. Mecanismul producerii curbei de studiat pe ecranul oscilografului.

studiat [1]), fascicolul de electroni se deplasează fără întrerupere, trasînd pe ecranul oscilografului o curbă închisă, avînd o formă bine definită, denumită *figura lui Lissajoux* [2]) (fig. 157).

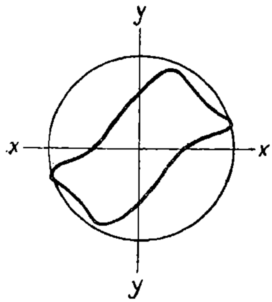


Fig. 157. Figura lui Lissajoux.

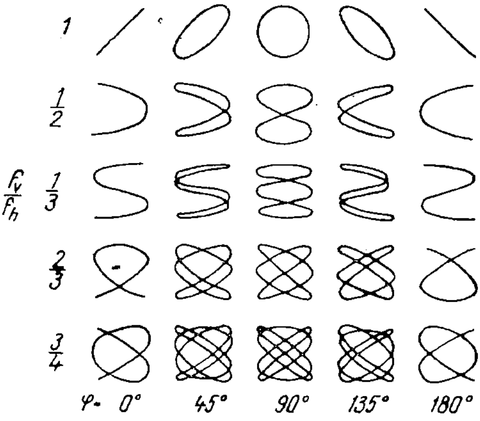


Fig. 158. Figuri Lissajoux pentru diferențe de fază cuprinse între 0 și π și raportul frecvențelor 1, $^1/_2$, $^1/_3$, $^2/_3$, $^3/_4$.

---

[1]) Dacă perioada e diferită, curba ce se obține este foarte complicată și nu poate fi utilizată.

[2]) Dacă cele două tensiuni aplicate celor două perechi de plăci sînt sinusoidale și au frecvențe egale, figura obținută este o elipsă a cărei formă depinde de diferența de fază a lor, ea reducîndu-se la o dreaptă cînd aceasta este nulă sau π. Dacă amplitudinile celor două tensiuni sînt egale, elipsa devine un cerc.

În cazul general, a două frecvențe diferite, aspectul figurilor lui Lissajoux este mai complicat, ele fiind totuși, întotdeauna înscrise într-un dreptunghi (fig. 158). Raportul frecvențelor celor două unde este egal cu raportul dintre numerele punctelor de tangență dintre curbă și dreptunghiul în care este înscrisă.

4. Oscilografele catodice cu catod cald se construiesc în general cu plăci la care se aplică tensiunea de studiat și tensiunea bazei de timp. Pentru a studia un curent cu acest tip de oscilograf se trece curentul respectiv printr-o rezistență neinductivă bine cunoscută [1]) și se aplică oscilografului tensiunea de la bornele acestei rezistențe.

În cazul cînd oscilograful este construit cu bobine de măsură [2]), la acest oscilograf se pot studia direct curbe de curenți. Pentru a studia o curbă de tensiune, se conectează în *serie* cu bornele oscilografului o rezistență neinductivă de valoare mare [3]), introducîndu-se în bobina de măsură a oscilografului un curent proporțional cu tensiunea de studiat.

5. La un oscilograf catodic cu catod cald oscilogramele respective se obțin cu ajutorul unui aparat fotografic obișnuit, al cărui obiectiv se așează în fața ecranului oscilografului, ferindu-l de orice lumină străină.

6. Oscilograful electronic cu catod cald are inconvenientul că tuburile electronice se construiesc în general cu un singur catod; în aceste condiții nu se poate studia decît o singură mărime.

Există tuburi cu două sau mai multe catode calde însă construcția oscilografelor de acest tip este foarte greoaie.

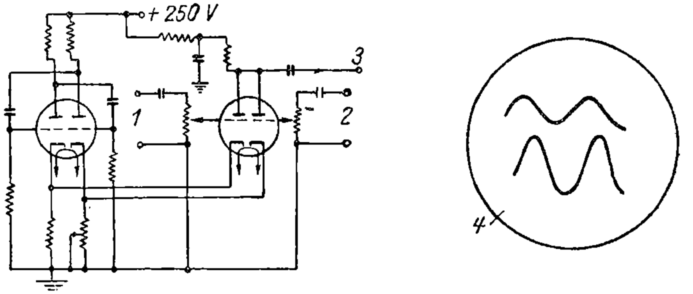


Fig. 159. Schema de principiu a unui comutator electronic.

Pentru a putea studia simultan două curbe cu un oscilograf catodic obișnuit se utilizează un montaj special numit *comutator electronic*, care ajută la alimentarea plăcilor de măsură pe rînd cu cele două tensiuni de studiat și care apar astfel în același timp pe ecran (fig. 159).

[1]) O rezistență etalon sau un șunt de ampermetru.

[2]) Deviația fasciculului de electroni se face cu ajutorul cîmpului magnetic.

[3]) Rezistența adițională a unui voltmetru.

D. Oscilograful catodic cu catod rece

1. La acest tip de oscilograf electronic, pentru producerea fasciculului de electroni este necesar să se aplice între anod și catod o tensiune continuă de cîteva zeci de kilovolți. Este un aparat industrial destinat să înregistreze fenomene tranzitorii și ultrarapide. Cu ajutorul acestui oscilograf se fac înregistrări în încercările cu undă de șoc la cabluri, la izolatoare, la mașinile electrice, la studiul trăznetelor etc.

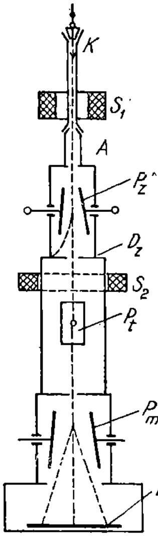


Fig. 160. Schema de principiu a unui oscilograf catodic cu catod rece.

Principiul de funcționare a acestui oscilograf este analog cu acela al oscilografului electronic cu catod cald (fig. 160): un catod rece K emite, prin descărcare luminiscentă de înaltă tensiune, unul sau mai multe fascicule de electroni sub formă de raze fine ; urmărind unul din aceste fascicule, acesta trece prin diafragma anodică A și prin diafragma de zăvorîre D_z[1]; între plăcile P_t se aplică o tensiune variind în mod regulat cu timpul (în dinți de ferăstrău), astfel că fasciculul va fi deviat proporțional cu timpul. De aici razele trec între plăcile P_m, la care se aplică o tensiune proporțională cu tensiunea de măsurat sau chiar tensiunea integrală, astfel că fasciculul va fi deviat proporțional cu această tensiune. Planurile celor două perechi de plăci fiind perpendiculare unul pe celălalt, fasciculul va înscrie pe ecran, sau direct pe placa fotografică, forma undei studiate. Pentru ca energia fasciculului să fie cît mai mare, este necesar ca tensiunea anodului să fie cît mai ridicată (70—80 kV). Această tensiune poate fi scăzută la 30—50 kV, dacă se montează o bobină de concentrare S_1, care va concentra fasciculul de raze catodice în același mod cum o lentilă convergentă concentrează un fascicul de raze luminoase. O a doua bobină S_2 concentrează din nou fasciculul, pentru ca imaginea obținută să fie cît se poate de clară.

2. Oscilograful catodic cu catod rece comportă o serie de instalații anexe, necesare funcționării lui, dintre care, una din cele mai importante este *instalația pentru producerea vidului*. Ea se compune de obicei dintr-o pompă de vid simplă, cu ulei de exem-

---

[1]) Servește pentru blocarea spotului luminos astfel ca oscilograful să nu înregistreze decît un anumit fenomen.

plu, pentru producerea vidului preliminar și dintr-o pompă moleculară, care rămîne mereu în serviciu în timpul funcționării oscilografului.

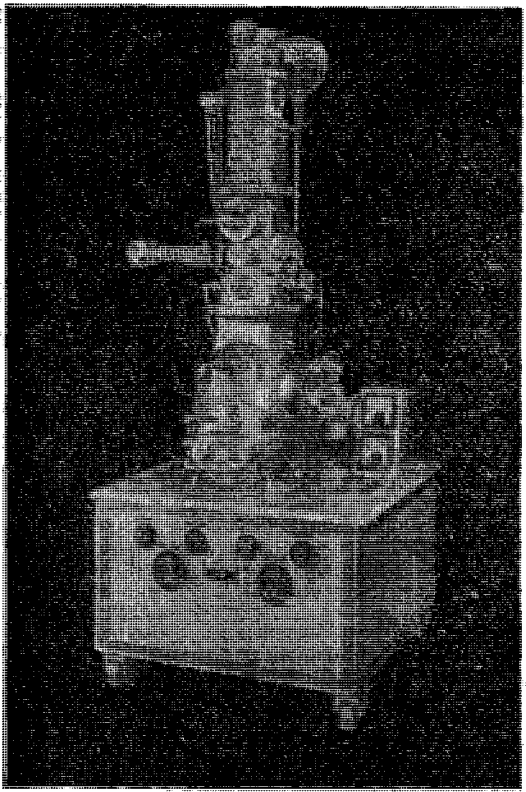


Fig. 161. Aspectul unui oscilograf electronic cu catod rece.

Înalta tensiune necesară funcționării oscilografului este produsă de un grup redresor, format în general dintr-un kenotron [1]), un transformator ridicător de tensiune, un transformator de încălzire și o rezistență de amortizare. Toate acestea formează, de obicei, o instalație aparte. Înalta tensiune este dusă la oscilograf printr-un cablu ecranat.

---

[1]) Tub electronic cu doi electrozi.

Alimentarea oscilografului se face, în general, de la orice rețea de distribuție trifazată, normal de 380/220 V, printr-un transformator de izolare cu raportul 1 : 1, încercat la o tensiune de cca. 10 kV. Acest transformator se montează în scopul de a se evita pătrunderea în oscilograf a unor tensiuni parazite dăunătoare.

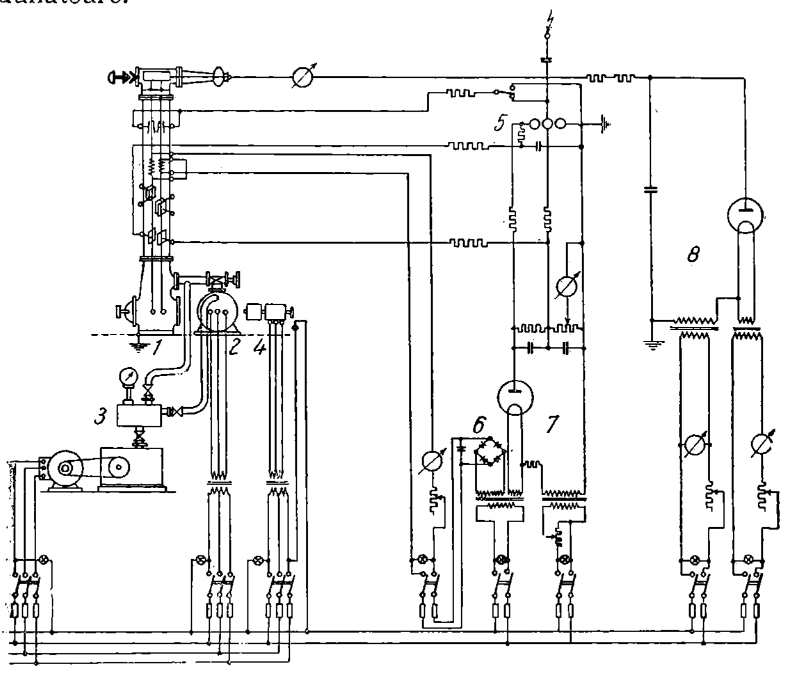


Fig. 162. Schema de principiu a unui oscilograf electronic cu catod rece:

1 — oscilograf ; 2 — pompa moleculară ; 3 — pompa preliminară ; 4 — caseta cu filme ; 5 — releu de declanșare ; 6–7 — redresori ; 8 — instalație de înaltă tensiune.

Oscilografele catodice cu catod rece se construiesc pentru două sau patru fascicule de electroni.

Puterea absorbită de la rețea de un astfel de oscilograf este de aproximativ 2,5 kW și masa lui de cca 750 kg.

În figura 161 este arătat aspectul unui asemenea oscilograf, iar în figura 162, schema lui de principiu.

CAPITOLUL IX

MĂSURAREA FORȚELOR ELECTROMOTOARE, A REZISTENȚELOR, A CAPACITĂȚILOR ȘI A INDUCTANȚELOR. APARATELE ȘI MONTAJELE FOLOSITE

Aparatele uzuale se folosesc nu numai pentru măsurarea directă a curenților, puterilor, tensiunilor și energiilor ci și pentru măsurarea indirectă a altor mărimi electrice: rezistențe, capacități, inductanțe.

Însă, în mod curent, pentru măsurarea acestor mărimi se folosesc aparate și montaje speciale; de aceea, în cele ce urmează, se vor expune atît metodele de măsurare cu aparate uzuale cît și cele bazate pe folosirea unor montaje și a unor aparate diferite de cele descrise mai înainte.

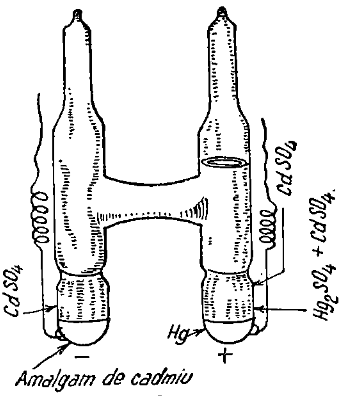
A. Măsurarea forței electromotoare

Forța electromotoare a unei surse de energie electrică nu poate fi măsurată cu un voltmetru, deoarece — pentru a funcționa — acesta consumă o putere care este debitată de sursa a cărei forță electromotoare trebuie măsurată. În acest caz, prin măsurare se obține tensiunea de la bornele sursei, iar nu forța ei electromotoare [1]). Pentru măsurarea acesteia din urmă este necesar să se folosească un montaj în care sursa să nu debiteze curent.

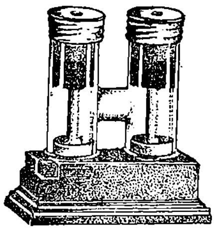
---

[1]) Forța electromotoare E este egală cu diferența de potențial la bornele unui generator de curent continuu cînd prin înfășurările acestuia nu circulă curent; ea este legată de tensiunea U la bornele generatorului, cînd acesta debitează pe un circuit, prin relația: $U=E—RI$, în care R e rezistența interioară a generatorului, iar I — curentul care circulă în circuitul închis alimentat de generator.

Există mai multe metode pentru măsurarea forței electromotoare în curent continuu; vom expune o metodă mai ușor de realizat practic, *metoda comparației*. Metoda comparației, care se folosește nu numai pentru măsurarea forței electromotoare ci și a altor mărimi electrice — rezistența, capacitatea, inductanța —, se bazează pe compararea valorii mărimii de măsurat cu valoarea unei mărimi etalon.



a



b

Fig. 163. Pila Weston (elementul normal):
a — compoziția; b — aspectul.

În cazul aplicării acestei metode, se compară forța electromotoare de măsurat cu forța electromotoare a unei surse cunoscute, o forță electromotoare etalon.

O forță electromotoare etalon este dată de o pilă electrică, construită cu multă grijă. Una dintre pilele etalon cele mai utilizate este pila Weston numită și *elementul normal*.

O pilă Weston este alcătuită dintr-un vas de sticlă în formă de H (fig. 163). Într-unul dintre picioarele vasului se află mercur (Hg), iar deasupra mercurului — cristale de sulfat de mercur (Hg_2SO_4).

În al doilea picior se află amalgam de cadmiu (Cd+Hg), iar deasupra — cristale de sulfat de cadmiu ($CdSO_4$). Electrolitul constă dintr-o soluție saturată de $CdSO_4$. Capetele exterioare ale electrozilor sînt formate din două fire de platină sudate în sticlă.

La această pilă, electrodul de mercur constituie polul pozitiv, iar electrodul de amalgam de cadmiu — polul negativ. Forța electromotoare a acestei pile este de 1,0185 V, la 20 °C; valoarea ei variază foarte puțin cu temperatura.

Montajul de măsurare a forței electromotoare prin metoda comparației este reprezentat în fig. 164. El constă dintr-un con-

densator etalon C, de capacitate cunoscută, din pila cu forța electromotoare etalon e_0, din pila a cărei forță electromotoare trebuie măsurată E, dintr-un galvanometru balistic B [1]) și dintr-un comutator cu godeuri de mercur k [2]).

Pentru efectuarea măsurării, se procedează în modul următor. Se face succesiv legăturile : legătura *3—4*, încărcîndu-se condensatorul etalon C de la sursa etalon e_0, apoi legătura *1—4*, descărcîndu-se condensatorul în galvanometrul balistic ; se obține elongația α_0. Se procedează în același mod și cu cursa E : se încarcă condensatorul, făcîndu-se legătura *2—4* și se descarcă, apoi, în balistic, făcîndu-se din nou legătura *1—4* ; se obține elongația α.

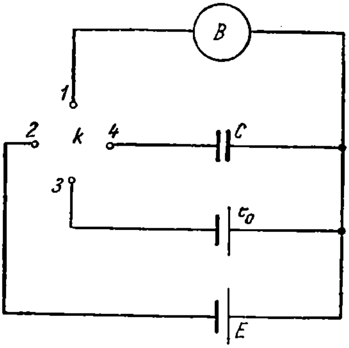


Fig. 164. Măsurarea forței electromotoare (f.e.m.) prin metoda comparației cu o f.e.m. etalon de valoare apropiată :

B — galvanometru balistic.

Valoarea forței electromotoare măsurate este dată de relația

$$E = e_0 \frac{\alpha}{\alpha_0}.$$

Această metodă dă valori exacte numai în cazul cînd forțele electromotoare ale celor două surse sînt de același ordin de mărime.

In cazul cînd sursele au forțe electromotoare diferite se folosește montajul reprezentat în fig. 166.

Modul de lucru este asemănător celui din cazul precedent, cu deosebirea că, dacă forța electromotoare a sursei de măsurat E este mai mare decît cea a sursei etalon e_0, condensatorul încărcat de sursa e_0 se descarcă, făcîndu-se legătura *1—3*, iar condensatorul încărcat de sursa E se descarcă făcîndu-se legătura

---

[1]) Un galvanometru balistic este un aparat de măsurat, asemănător galvanometrului simplu, care se deosebește numai prin aceea că echipajul său mobil are o greutate mare, deci un moment de inerție mare.

Din această cauză echipajul mobil al galvanometrului este „leneș" și, dacă prin bobinajul său trece un curent de o durată foarte mică, cum ar fi curentul produs de descărcarea unui condensator, echipajul nu se pune în mișcare decît după ce întreaga cantitate de electricitate a trecut prin galvanometru. Deviația maximă a galvanometrului balistic, care rezultă în urma procesului descris, este proporțională cu această cantitate de electricitate.

[2]) Intrerupătorul cu godeuri de mercur este constituit dintr-o placă de ebonită, în care sînt executate patru scobituri, numite godeuri, care pot fi umplute cu mercur și care comunică cu patru borne (fig. 165). Legătura electrică între diversele godeuri se realizează cu ajutorul unor piese de cupru numite călăreți.

1—2. Se reglează rezistența R_1, în așa fel încît, în ambele cazuri galvanometrul să dea cam aceleași elongații. Rezistența R_1 este astfel variată încît $R_1+R_2=R$ să rămînă în permanența aceeași.

Valoarea forței electromotoare este dată de relația

$$E=e_0 \frac{\alpha}{\alpha_0} \cdot \frac{R}{R_1}.$$

Pentru măsurări de foarte mare precizie, în laboratoare se folosesc metode potențiometrice.

Pentru aceasta se folosește un compensator analog cu acel folosit pentru etalonarea de precizie a aparatelor de măsurat [1]: este suficient a lega la bornele X sursa de tensiune a cărei forță electromotoare dorim să o măsurăm și, procedînd ca pentru etalonarea voltmetrelor, găsim valoarea forței electromotoare căutate.

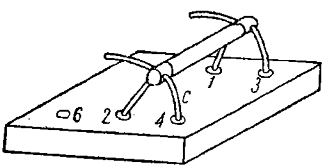


Fig. 165. Comutatorul cu godeuri cu mercur.

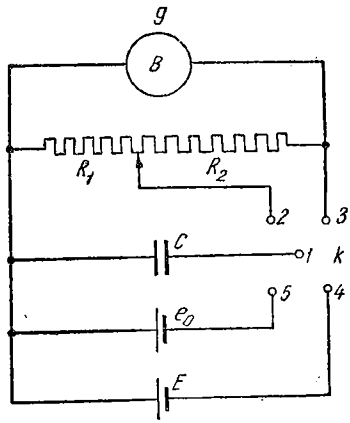


Fig. 166. Măsurarea f.e.m. prin metoda comparației cu o f.e.m. etalon de valoare mult diferită: R_1, R_2 – rezistențe potențiometrice.

Dacă forța electromotoare de măsurat are o valoare mare, atunci legătura la compensator se face prin intermediul unui potențiometru (divizor de tensiune).

B. Măsurarea rezistențelor

1. Rezistența electrică este o mărime care caracterizează opoziția materialelor la trecerea curentului electric. Ea se definește, într-un circuit închis de curent continuu, prin raportul dintre

---

[1]) V. cap. IV. B.

tensiunea U între capetele circuitului și curentul I care circulă prin acest circuit.

Deci

$$R=\frac{U}{I}.$$

Dacă tensiunea se exprimă în volți, iar curentul — în amperi, rezistența rezultă în ohmi.

Rezistența unui conductor de lungime l (m) și secțiune S (m^2) este dată de relația :

$$R=\rho\frac{l}{S},$$

in care ρ este rezistivitatea materialului și se exprimă în $\Omega \cdot m$, (sau în $\Omega \cdot cm$, dacă lungimea este exprimată în cm, iar secțiunea — în cm^2).

În practică, pentru firele conductoare rezistența electrică se calculează, luînd lungimea conductorului în m și secțiunea sa în mm^2. În aceste condiții rezistivitatea este exprimată în $\Omega\frac{mm^2}{m}$.

În tabela 10 sînt indicate valorile rezistivităților materialelor conductoare cele mai des întîlnite în electrotehnică.

Tabela 10

Valorile rezistivităților unor materiale conductoare

Materialul	Rezistivitatea în Ω. cm 10^{-6}	Coeficientul de temperatură α	Observații
Aluminiu pur	2,8	+0,0041	la 20 °C
Cupru industrial	1,7	+0,004	
Cupru electrolitic	1,54	+0,0041	
Fier	10—12	+0,0055	
Plumb	19,5	+0,0042	
Argint	1,5	+0,0040	
Mercur	94	+0,000 887	
Platină	11	+0,0038	
Cărbune amorf	4000—6000	—0,003	
Maillechort	30	+0,00096	Aliaj din Cu 60% Ni 14,6% și Zn 25,4%
Manganin	42	+0,0001	Aliaj din Cu 84% Mn 12% și Ni 4%
Constantan	50	0	Aliaj din Cu 60% Ni 40%

În această tabelă, valorile rezistivităților sînt date pentru temperatura de 0 °C (cu excepția celei a aluminiului, care este dată la 20 °C), iar α este coeficientul de variație a rezistivității.

Calculul rezistivității la o altă temperatură θ, cînd se cunoaște rezistivitatea la temperatura θ_0, se face cu relația

$$\rho_\theta=\rho_{\theta_0}[1+\alpha(\theta-\theta_0)].$$

În afară de rezistențele corpurilor conductoare, care servesc la construirea părților active ale mașinilor și liniilor electrice, există în practică și o altă categorie de rezistențe a căror valoare dă o indicație calitativă asupra stării izolației unei instalații sau a unui aparat, a unei mașini etc. În această categorie intră rezistența prizelor de pămînt, rezistența de izolație a instalațiilor și mașinilor electrice, rezistența de izolație a unei linii electrice (aeriene sau subterane), rezistența unui material izolant etc. Pentru aceste rezistențe nu se poate defini, în general, o rezistivitate, valoarea ei, pentru unele materiale izolante, fiind de ordinul miliardelor de $\Omega \cdot m$.

2. Pentru măsurarea rezistențelor electrice există mai multe metode. În unele dintre acestea se folosesc aparate obișnuite (voltmetrul și ampermetrul) sau aparate speciale (ohmmetrul); altele necesită montaje speciale cu aparate de o construcție diferită de aceea a aparatelor obișnuite și care nu pot fi realizate decît în laboratoare. În această categorie intră și metodele de punte.

În general, diversele metode de măsurare a rezistențelor sînt adaptate naturii și valorilor rezistenței de măsurat.

În cele ce urmează, se vor expune metodele și aparatele folosite pentru măsurarea rezistențelor materialelor conductoare; apoi, în paragrafe succesive, se va expune măsurarea rezistențelor de izolație, a rezistențelor prizelor de pămînt și însfîrșit — ca aplicație importantă — determinarea locurilor defectelor în cabluri sau în linii aeriene prin măsurări de rezistențe.

1) **Metode folosind ampermetrul și voltmetrul.** Pentru a determina valoarea unei rezistențe electrice cu ajutorul ampermetrului și voltmetrului, se înseriază într-un circuit această rezistență, o baterie de acumulatoare, un întrerupător și un ampermetru (fig. 167).

În paralel cu rezistența se leagă un voltmetru. Închizînd întrerupătorul, în circuit se stabilește un curent electric I, care se măsoară cu ampermetrul; căderea de tensiune U, de la bornele rezistenței necunoscute R_x, egală cu

$$U=R_x I,$$

se măsoară cu voltmetrul.

De aici rezultă

$$R_x = \frac{U}{I}.$$

Există două posibilități de legare a voltmetrului în acest montaj:

a) fie la bornele rezistenței necunoscute, în care caz el măsoară căderea de tensiune din această rezistență;

b) fie la borna de intrare a ampermetrului și la borna de ieșire a rezistenței de măsurat — în care caz voltmetrul măsoară atît căderea de tensiune din rezistența de măsurat cît și aceea datorită rezistenței ampermetrului.

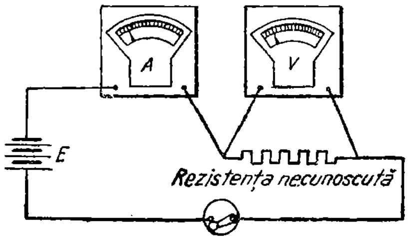


Fig. 167. Măsurarea rezistențelor cu ampermetrul și voltmetrul. Montajul „aval" al voltmetrului.

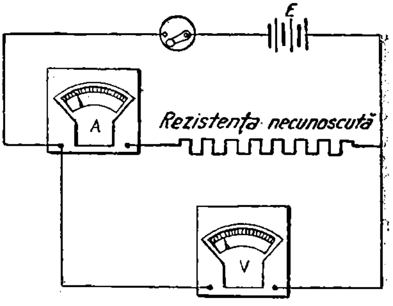


Fig. 168. Măsurarea rezistențelor cu ampermetrul și voltmetrul. Montajul „amonte" al voltmetrului.

Primul montaj (fig. 167) se numește *montaj aval,* voltmetrul fiind legat „la vale" de ampermetru, adică după ampermetru. În acest caz, ampermetrul măsoară curentul total absorbit atît de rezistența necunoscută cît și de rezistența interioară a voltmetrului; în cazul cînd curentul care trece prin rezistență este mult mai mare decît cel care trece prin voltmetru, greșeala care se face — admițîndu-se că ampermetrul măsoară numai curentul care trece prin rezistență —, este foarte mică, ceea ce se și întîmplă dacă rezistența de măsurat este mică (de cîțiva ohmi). Rezultă, deci, că *montajul aval se folosește în cazul cînd trebuie măsurate rezistențe mici față de rezistența voltmetrului.*

Al doilea montaj (fig. 168) se numește *montaj amonte,* voltmetrul fiind legat „la deal" de ampermetru, adică înainte de ampermetru. În acest caz, voltmetrul măsoară căderea de tensiune din ampermetru și din rezistența necunoscută, iar ampermetrul indică numai curentul care circulă prin rezistență. Dacă rezistența de măsurat este mult mai mare decît rezistența ampermetrului, greșeala care se comite admițîndu-se că voltmetrul

măsoară numai căderea de tensiune din rezistența necunoscută, este foarte mică. Rezultă, deci, că *montajul amonte se folosește în cazul cînd trebuie măsurate rezistențe mai mari față de rezistența ampermetrului.*

În atelierele de mașini electrice, pentru măsurarea rezistenței înfășurărilor indușilor acestor mașini se folosește un aparat special, bazat pe metoda ampermetrului și voltmetrului. Acest aparat este alcătuit dintr-un ampermetru, un voltmetru și o rezistență cu cursor cu ajutorul căreia poate fi variată valoarea curentului care trebuie măsurat (fig. 169). Sursa de alimentare a acestui aparat o constituie o baterie de acumulatoare de 6 V. Aparatul este prevăzut cu degete de contact (cîte două de fiecare piesă), atît pentru curent, cît și pentru tensiune. Pentru efectuarea măsurării, se apasă cu degetele aparatului pe două lamele consecutive ale colectorului mașinii și se citesc indicațiile ampermetrului și ale voltmetrului. Cu ajutorul rezistenței cu cursor se variază valoarea curentului, astfel încît să se obțină deplasări destul de mari ale acelor indicatoare ale ambelor aparate.

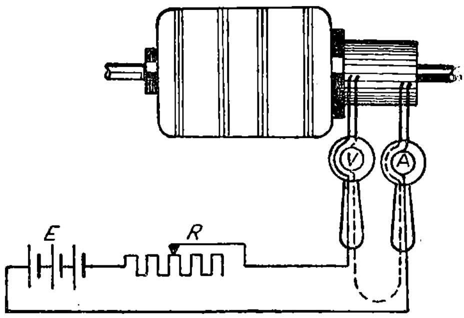


Fig. 169. Aparat pentru măsurarea rezistențelor înfășurărilor mașinilor electrice.

Împărțind indicația voltmetrului (în V) prin indicația ampermetrului (în A), se obține valoarea rezistenței căutate.

2) **Metode folosind numai voltmetrul. Metoda comparației.** a) Se formează un circuit în care se leagă în serie cu rezistența necunoscută de măsurat R_x o rezistență cunoscută R_c (fig. 170). Se măsoară cu un voltmetru, mai întîi căderea de tensiune la bornele rezistenței cunoscute. Fie U_c, în volți, această cădere de tensiune măsurată. Se măsoară, apoi, cu același voltmetru, căderea de tensiune la bornele rezistenței necunoscute. Fie U_x (V) această cădere de tensiune măsurată. Întrucît rezistențele R_c și R_x sînt legate în serie, prin ele va trece același curent I. Rezultă :

$$IR_x = U_x$$

și :

$$IR_c = U_c.$$

Împărțind aceste relații una prin cealaltă, obținem

$$\frac{R_x}{R_c}=\frac{U_x}{U_c},$$

de unde deducem că

$$R_x=\frac{U_x}{U_c}R_c.$$

Această metodă se numește *metoda comparației* și este cu atît mai exactă, cu cît rezistențele care se compară au valori mai apropiate una de alta.

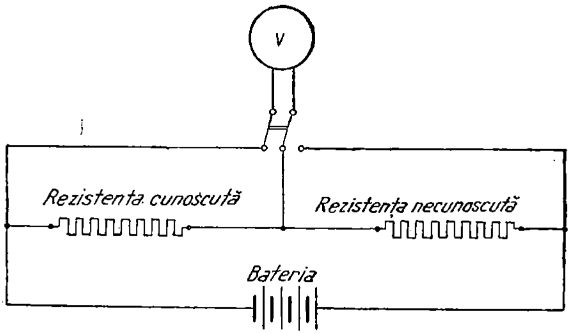


Fig. 170. Măsurarea rezistențelor prin metoda comparației.

b) În cazul cînd nu dispunem de o rezistență cunoscută, ci numai de un voltmetru, a cărui rezistență este cunoscută, putem folosi următoarea metodă de măsurare a rezistențelor :

Se măsoară cu ajutorul voltmetrului, diferența de potențial la bornele unui acumulator bine încărcat, obținîndu-se o valoare U_1. Se leagă în serie cu voltmetrul rezistența necunoscută R_x și se măsoară din nou diferența de potențial la bornele aceluiași acumulator, obținîndu-se o altă valoare U_2.

Rezistența necunoscută este dată de relația [1])

$$R_x=R\left(\frac{U_1}{U_2}-1\right),$$

în care R este rezistența voltmetrului.

---

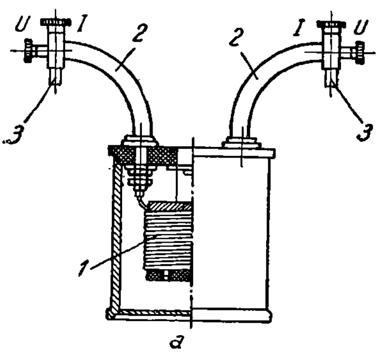
[1]) Relația se deduce astfel : la legarea directă a voltmetrului

$$k\frac{E}{R}=ki_1=U_1,$$

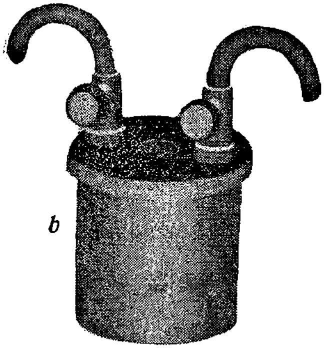
k fiind constanta voltmetrului, iar i_1 — curentul care îl parcurge ; la legarea

Cu această metodă, folosind un acumulator de 4 V, pot fi măsurate rezistențe între 25 Ω și 50 000 Ω, iar cu un acumulator de 80 V pot fi măsurate rezistențe între 2000 Ω și 4 MΩ. Metoda dă rezultate bune la măsurarea rezistențelor mari și foarte mari.

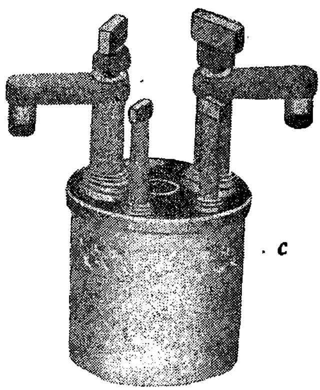
3) **Rezistența etalon.** Rezistența de comparație care se folosește în metoda comparației pentru măsurarea rezistențelor electrice, precum și în alte măsurători de laborator, este o rezistență de o construcție specială, foarte îngrijită, avînd valoarea bine cunoscută; această rezistență se numește *rezistență etalon* sau *normală*. O astfel de rezistență este construită în felul următor (fig. 171, *a*): pe un cilindru de alamă *1* este bobinată



a



b



c

Fig. 171. Rezistență etalon:

a – schema de construcție; *b* – aspectul exterior al unui element cu valoare mare a rezistenței; *c* – idem, pentru un element cu valoare mică a rezistenței.

în serie cu rezistența R

$$k\frac{E}{R+R_x}=ki_2=U_2.$$

Prin împărțire, obținem:

$$\frac{U_1}{U_2}=\frac{R+R_x}{R}=1+\frac{R_x}{R},$$

de unde

$$R_x=R\left(\frac{U_1}{U_2}-1\right).$$

sîrmă de manganin izolată cu mătase; pentru micșorarea inductanței, sîrma se bobinează în fir dublu. Capetele acestei sîrme se leagă la barele masive de cupru *2*, care sînt fixate într-o placă izolatoare, confecționată din ebonită și care constituie capacul elementului. Bobina rezistivă este introdusă într-o cutie de alamă cilindrică, fixată de capac. Elementul are două perechi de borne: bornele *I* servesc pentru introducerea rezistenței etalon în circuitul curentului, iar bornele *U* servesc pentru măsurarea tensiunii la bornele ei. Rezistența etalon poate fi introdusă în circuitul serie cu ajutorul bolțurilor *3* care se introduc în niște godeuri cu mercur; în acest mod se elimină rezistența de contact ce apare în general la contactul dintre conductorul de legătură și borna respectivă.

Rezistențele etalon se execută în mod normal pentru următoarele valori ale rezistenței: 0,0001; 0,001; 0,01; 0,1; 1; 10; 100; 1000; 10 000; 100 000 Ω.

Pentru menținerea rezistenței constante, rezistențele etalon se răcesc fie cu aer, fie într-o baie de petrol.

4) **Măsurarea rezistențelor cu ohmmetrul.** Ohmmetrul este un aparat cu ajutorul căruia se determină direct valoarea unei rezistențe electrice; el face parte din categoria aparatelor cu ac indicator și este etalonat direct în ohmi.

Din punct de vedere constructiv, se cunosc trei tipuri de ohmmetre:

Ohmmetru cu montaj șunt.

Ohmmetru cu montaj serie.

Ohmmetru cu inductor (cu magnetou).

Primele două tipuri nu diferă decît în ce privește modul în care se leagă rezistența de măsurat, față de aparatul indicator. Principiul lor de funcționare este același și se deduce din legea lui Ohm: printr-o rezistență alimentată de la o sursă de tensiune constantă va circula un curent cu atît mai mare, cu cît rezistența este mai mică. Ohmmetrele necesită deci o sursă de energie, care poate fi un mic acumulator sau o baterie uscată, cum și un aparat indicator magnetoelectric, care poate fi un ampermetru sau un galvanometru.

Acul indicator al ohmmetrului cu montaj șunt (fig. 172) stă în poziția „zero" pe scară cînd rezistența de măsurat este nulă, adică atunci cînd bornele aparatului sînt legate în scurtcircuit. Cînd rezistența de măsurat are o valoare infinit mare, adică atunci cînd la bornele aparatului nu există nici o rezistență, acul indicator va avea cea mai mare deviație însemnată pe scară cu ∞ (infinit).

Acul ohmmetrului cu montaj serie (fig. 173) rămîne în poziția de repaus, atunci cînd rezistența de măsurat are o valoare infinit mare, adică atunci cînd la bornele aparatului nu există nici o rezistență. Acest punct se notează pe scara aparatului cu semnul ∞ (infinit). Cînd rezistența de măsurat are valoarea zero, adică atunci cînd bornele aparatului sînt legate în scurtcircuit, acul indicator are cea mai mare deviație, care va fi notată cu 0 (zero).

Măsurarea rezistențelor cu ajutorul ohmmetrelor, indiferent de montajul interior, se face în modul următor : se leagă rezistența de măsurat la bornele R_x ale aparatului ; se apasă pe butonul M și se citește valoarea rezistenței direct pe aparatul indicator. Comutatorul U servește pentru schimbarea domeniului de măsurare, respectiv a sensibilității aparatului.

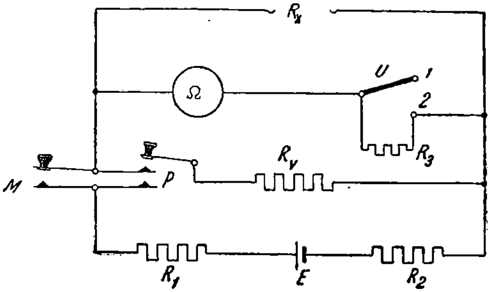


Fig. 172. Ohmmetrul cu montaj șunt :
R_1, R_2 – rezistență pentru limitarea curentului ; P – comutator pentru verificări ; Ω – aparatul indicator.

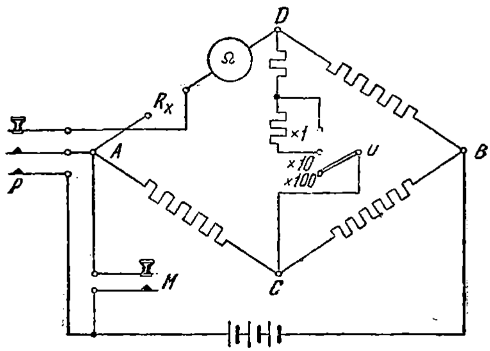


Fig. 173. Ohmmetru cu montaj serie :
Ω – aparatul indicator.

Întrucît valoarea curentului care trece prin aparatul indicator depinde de tensiunea la bornele sursei care alimentează ohmmetrul, indicațiile acestuia pot varia în raport cu tensiunea la bornele sursei. De aceea, aparatul este prevăzut cu un dispozitiv de verificare a sursei, care constă din măsurarea unei rezistențe cunoscute, montată chiar în aparat. Verificarea se face apăsînd pe butonul P și observînd dacă acul se oprește în dreptul unei anumite diviziuni, însemnată cu roșu pe aparat. În caz contrar se schimbă bateria sau se modifică rezistența interioară a aparatului, cu ajutorul unui dispozitiv de corectare.

În fig. 174 este reprezentat aspectul exterior al unui ohmmetru cu montaj șunt sau serie.

În ceea ce privește domeniul de utilizare al acestor ohmmetre, ohmmetrul cu montaj șunt se folosește la măsurarea rezistențelor mici (de cîteva zeci sau sute de ohmi), iar cel cu montaj serie — la rezistențe mari.

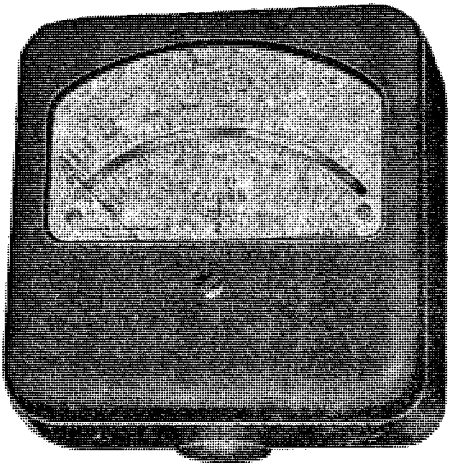


Fig. 174. Aspectul exterior al unui ohmmetru cu montaj șunt sau serie.

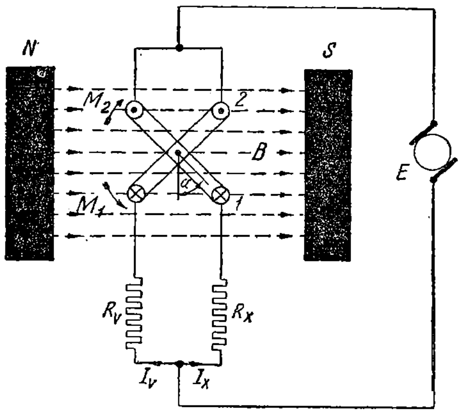


Fig. 175. Schema electrică a unui ohmmetru cu inductor.

Ohmmetrele din categoria a treia, adică cele cu inductor (magnetou), diferă de celelalte prin aceea că aparatul indicator este constituit de înseși bobinele care măsoară rezistența iar sursa de alimentare este un inductor (fig. 175). Echipajul mobil al acestui aparat, construit pe principiul logometrelor magnetoelectrice, este alcătuit din două bobine B_1 și B_2 încrucișate la 90° și legate solidar: una dintre bobine este în serie cu o rezistență cunoscută R_0 iar cealaltă cu rezistența necunoscută R_x. Echipajul mobil este situat între polii unui magnet permanent, bobinele fiind alimentate de curentul produs la învîrtirea manivelei inductorului E; bobinele sînt legate în serie cu rezistențe diferite — și curenții de care sînt parcurse diferă. Se știe că, în cazul cînd un curent electric parcurge înfășurarea unei bobine așezate între polii unui magnet permanent, bobina se rotește în jurul axei sale și caută să se așeze perpendicular pe direcția nord-sud a polilor magnetului [1]). În consecință, cele două bobine ale ohmmetrului, parcurse de curenți diferiți, vor căuta să se așeze fiecare, perpen-

[1]) V. p. 6.

dicular pe direcția nord-sud a polilor magnetului permanent. Întrucît aceste bobine sînt legate solidar între ele, într-un anumit moment cuplurile produse de fiecare bobină își vor face echilibru, astfel încît echipajul mobil va sta pe loc. Această poziție corespunde unui anumit curent care trece prin rezistența necunoscută R_x. Pentru o altă rezistență necunoscută echipajul mobil va avea o altă poziție de echilibru.

Inductorul poate produce tensiuni pînă la 1000 V spre deosebire de bateriile folosite la ohmmetrele din primele două categorii care nu dau tensiuni mai mari de 20 V.

Producerea tensiunii continue necesare funcționării megohmmetrului poate fi obținută pe diverse căi. În fig. 176 este dat un asemenea aparat prevăzut cu tuburi electronice pentru redresarea curentului alternativ de alimentare și pentru amplificarea curenților rezultați și care urmează a fi măsurați.

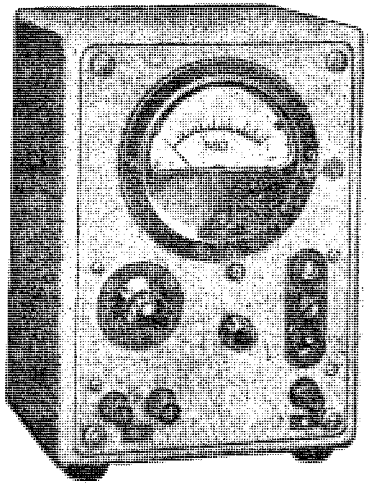


Fig. 176. Megohmmetru cu tuburi electronice.

Oricare ar fi principiul lor de construcție, ohmmetrele nu sînt aparate de precizie. Ele sînt folosite în ateliere, în rețele etc., acolo unde trebuie făcută o măsurare rapidă, cu o precizie redusă.

5) **Măsurarea rezistențelor mici și a rezistențelor mari în laboratoare. Metodele de punte.** Metodele și aparatele de măsurat examinate nu pot fi folosite în cazul cînd valoarea rezistențelor trebuie determinată cu foarte mare precizie, de exemplu în laboratoare sau în atelierele de montaj și de reparații de aparate electrice. În aceste cazuri, sînt folosite montaje speciale, numite *punți*. O punte este alcătuită din mai multe rezistențe legate între ele după o anumită schemă, una dintre rezistențe fiind cea necunoscută, care trebuie determinată, un galvanometru și o sursă de curent continuu (pilă, baterie de acumulatoare etc.).

În general, cu ajutorul punților putem măsura orice rezistență electrică, de la cea mai mică și pînă la cea mai mare. Totuși, în practică, pentru măsurarea rezistențelor între 1 Ω și 1 MΩ se folosește puntea simplă sau puntea Wheatstone; pentru rezistențele sub 1 Ω, în special pentru rezistențele foarte mici,

se folosește puntea dublă sau puntea Thomson ; pentru rezistențele foarte mari, peste 1 $M\Omega$, se folosește un montaj special, asemănător montajului corespunzător metodei de comparație.

Puntea Wheatstone este alcătuită din patru rezistențe, legate ca în fig. 177, *a*, dintre care trei (R_1, R_2, R_3) sînt cunoscute, iar a

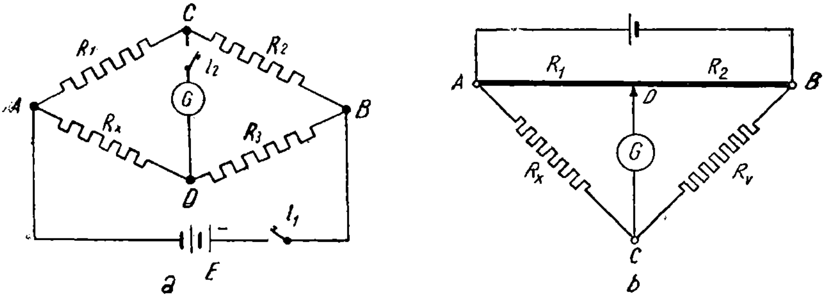


Fig. 177. Schema electrică a punții Wheatstone:
a — Puntea Wheatstone obișnuită ; *b* — Puntea Wheatstone cu fir.

patra (R_x) este necunoscută. Galvanometrul este legat între rezistențele R_1, R_2 și R_3, R_x iar bateria de acumulatoare — între rezistențele R_1, R_x și R_2, R_3.

Rezistențele se măsoară cu destulă ușurință, cu ajutorul punții lui Wheatstone, dar operatorul trebuie să aibă foarte multă răbdare, ca — de altfel — la orice lucrare de laborator. La bornele *AD* ale punții se leagă rezistența necunoscută R_x de măsurat, la bornele *AB* — bateria de acumulatoare, iar la bornele *CD* — galvanometrul. Se fixează valorile rezistențelor R_1 și R_2 și se variază rezistența R_3 pînă cînd, apăsînd pe întrerupătoarele I_1 și I_2, spotul luminos al galvanometrului rămîne imobil pe rigla gradată. Se spune că puntea a fost echilibrată. În acest caz, valoarea rezistenței necunoscute este dată de relația

$$R_x = R_3 \frac{R_1}{R_2}, \text{ în } \Omega.$$

Pentru a se putea calcula cu ușurință valoarea unei rezistențe măsurate, rezistențele R_1 și R_2 se fixează în așa fel, încît raportul R_1/R_2 să aibă una dintre valorile: 0,001 ; 0,01 ; 0,1 ; 1 ; 10 ; 100 ; 1000. R_3 este o rezistență de 11 111 Ω, împărțită în „decade", adică fiecare valoare de rezistență este împărțită în 10 părți egale ; vor fi deci

10 rezistențe a	1000 Ω =	10 000 Ω ;
10 rezistențe a	100 Ω =	1000 Ω ;
10 rezistențe a	10 Ω =	100 Ω ;
10 rezistențe a	1 Ω =	10 Ω ;
10 rezistențe a	0,1 Ω =	1 Ω.

În modul acesta, lui R_3 i se poate da orice valoare între 0,1 Ω și 11 111 Ω. Schema interioară de montaj a unei punți Wheatstone este reprezentată în fig. 178. Diversele rezistențe se introduc cu ajutorul unor fișe (fig. 179).

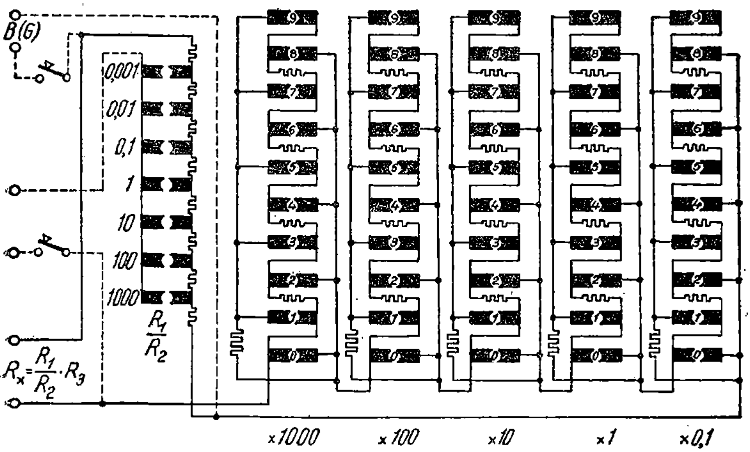


Fig. 178. Schema interioară a punții Wheatstone cu decade.

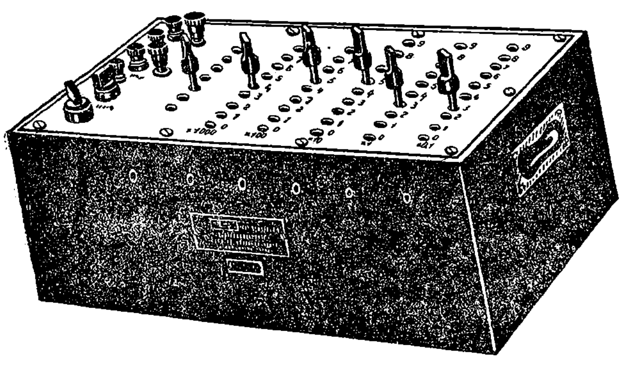


Fig. 179. Aspectul exterior al unei punți Wheatstone de precizie.

După cum rezultă din cele de mai sus, cu o punte Wheatstone pot fi măsurate rezistențe cuprinse între 0,001×0,1 = 0,0001 Ω și 1000×11 111 = 11 111 000 Ω. În practică, însă, cu această punte nu se măsoară decît rezistențe cuprinse între 1 Ω și 100 000—1 000 000 Ω.

Observație. Cînd se lucrează cu o punte Wheatstone, după ce a fost fixată valoarea rezistenței R_3 și se caută să se vadă dacă puntea este în echilibru, se

apasă întîi pe întrerupătorul I_1 al bateriei de acumulatoare, iar apoi pe întrerupătorul I_2 al galvanometrului. Dacă procedăm altfel, putem provoca deteriorarea galvanometrului.

În modelul de punte Wheatstone descris mai sus, se mențin fixe rezistențele R_1 și R_2 și, deci raportul R_1/R_2, și se variază rezistența R_3 pînă ce puntea se echilibrează.

Există punți la care valoarea rezistenței R_3 se menține constantă, iar pentru echilibrarea punții se variază rezistențele R_1 și R_2, adică raportul R_1/R_2. Acestea sînt punțile cu fir, la care valorile rezistențelor R_1 și R_2 sînt stabilite cu ajutorul unui cursor care se deplasează pe un fir perfect calibrat (fig. 177, *b*).

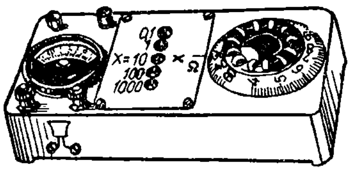


Fig. 180. Punte Wheatstone pentru ateliere.

De asemenea există punți la care variația diverselor rezistențe R_1, R_2, R_3 se face cu ajutorul unor comutatoare.

În afară de punțile de precizie descrise mai sus și construite pentru laboratoare, mai există și unele modele de punți, atît cu fir calibrat, cît și cu rezistențe variabile, mai puțin precise și construite pentru atelierele de montaj sau de reparații de aparate. Aceste punți au gata montate pe ele un galvanometru și funcționează cu ajutorul unei baterii uscate (pentru lămpi de buzunar) (fig. 180).

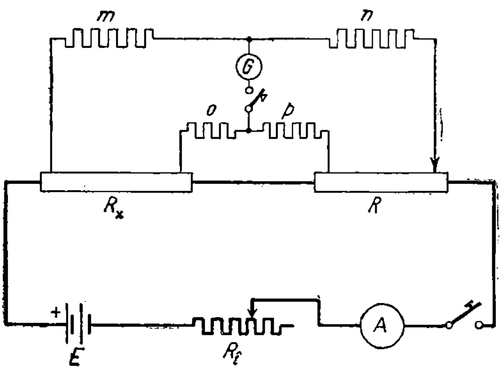


Fig. 181. Schema de montaj a punții duble.

Puntea dublă (fig. 181) este formată din două circuite, unul alcătuit din rezistența R_x de măsurat legată în serie cu o rezistență cunoscută R și cu o baterie de acumulatoare capabilă să debiteze un curent destul de mare (4—10 A). La rezistențele R_x

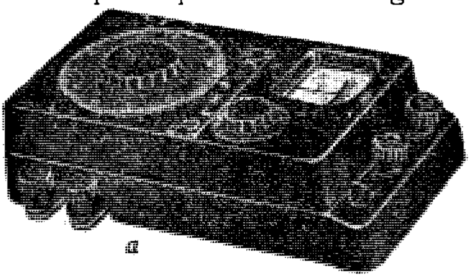
și R sînt legate rezistențele m, n, o și p, a căror valoare este de ordinul miilor de ohmi. Galvanometrul se leagă între rezistențele m, n și o, p. La această punte se lucrează ca și la puntea Wheatstone: se fixează valoarea rapoartelor $\frac{m}{n}=\frac{o}{p}$ și se reglează, apoi, rezistența R pînă cînd puntea se echilibrează, ceea ce se obține în momentul cînd spotul galvanometrului „stă" la zero.

În acest caz, valoarea rezistenței necunoscute este dată de relația:

$$R_x = R\frac{m}{n}.$$

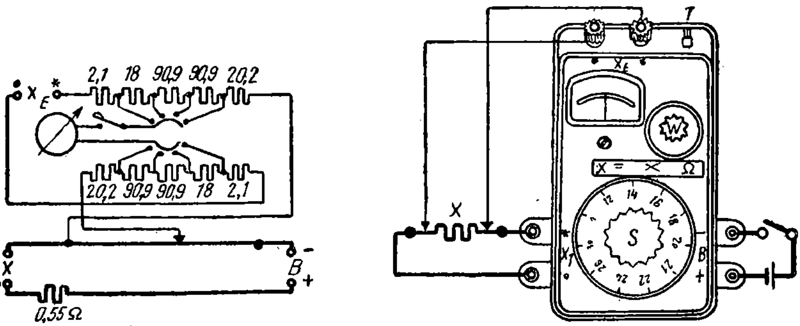
În construcțiile practice, rezistența R este un fir calibrat; variația ei este astfel continuă. Există punți la care valoarea rezistenței R este constantă și se variază raportul $\frac{m}{n}=\frac{o}{p}$, cele 4 rezistențe m, n, o și p variind împreună.

Una din condițiile necesare ca rezultatul măsurătorii să fie cît mai precis posibil este ca legătura dintre rezistențele R_x și R să se facă cu un conductor de secțiune foarte mare, cu rezistență practic nulă.



a

Ca și în cazul punții Wheatstone, se construiesc și punți duble în modele pentru atelier (fig. 182, *a*).



b c

Fig. 182. Punte dublă pentru atelier.

În fig. 182, *b* este arătată schema interioară a acestei punți, iar în fig. 182, *c* este arătat modul cum se conectează rezistența

de măsurat și bateria de acumulatoare. Cu această punte se pot măsura, cu suficientă precizie, rezistențele cuprinse între 0,0001 Ω și 2 Ω.

6) **Măsurarea rezistențelor de izolație în practică și în laborator.** Prin rezistențe foarte mari se înțeleg rezistențele a căror valoare este de cel puțin 1 MΩ [1]). Acestea sînt, în general, rezistențele de izolație ale instalațiilor, ale cablurilor etc. Aceste rezistențe nu pot fi măsurate cu puntea Wheatstone, deoarece tensiunea pilei sau a bateriei de acumulatoare ar trebui să fie prea mare pentru a se putea obține un curent la care galvanometrul să fie sensibil.

Rezistențele foarte mari se măsoară, în practică, cu megohmmetrul, aparat pe care îl cunosc toți electricienii și pe care îl numesc *inductor*. În laborator, rezistențele foarte mari se măsoară prin metoda *substituției*.

Megohmmetrul este un aparat asemănător cu ohmmetrul cu inductor, la care, însă, sursa de curent continuu are o tensiune destul de mare (250, 500 sau 1000 V). Sursa este un inductor —

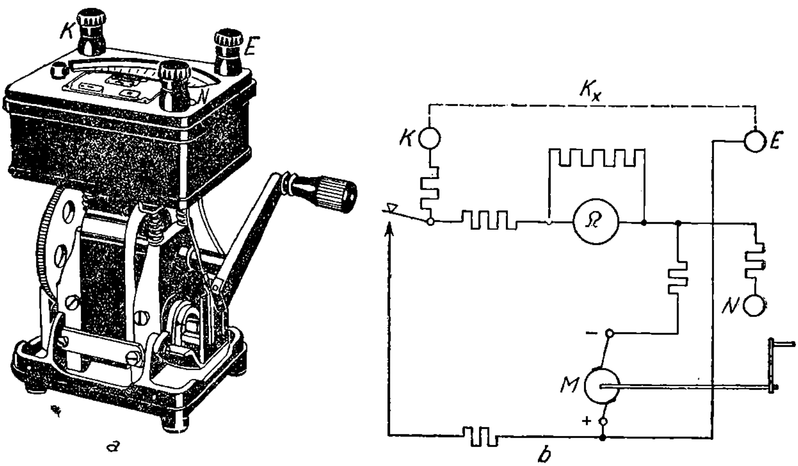


Fig. 183. Schema electrică și aspectul exterior ale megohmmetrului cu inductor:

Ω — aparatul indicator ; *M* — magnetoul (inductorul).

un mic dinam avînd polii formați de un magnet permanent și al cărui indus este învîrtit cu mîna prin intermediul unei manivele (fig. 183, *a*). Schema electrică interioară a unui megohmmetru este reprezentată în fig. 183, *b* și este analogă cu schema ohmmetrului serie.

---

[1]) 1 MΩ (citește „megohm") = 1 000 000 Ω.

Megohmmetrul este folosit, în general, pentru verificarea rezistenței de izolație a instalațiilor electrice, cum și pentru verificarea izolației mașinilor și a aparatelor electrice. Indicațiile pe care le dă un megohmmetru sînt numai aproximative. Valoarea izolației unei instalații trebuie să fie de cel puțin 1000 Ω pentru fiecare volt al tensiunii de utilizare. Astfel, pentru o rețea de 220 V, rezistența de izolație trebuie să fie de cel puțin

$$220 \times 1000 = 220\,000\ \Omega.$$

Regulamentele de instalații întocmite de întreprinderile de distribuire a energiei electrice indică rezistența de izolație pe care trebuie să o aibă fiecare instalație.

Pentru verificarea izolației unei instalații este folosit întotdeauna un inductor avînd tensiunea de cel puțin 100 V. Se fac întotdeauna două serii de măsurări: se determină întîi izolația instalației față de pămînt, iar apoi se determină izolația unui circuit față de celălalt (a unei linii față de cealaltă).

Pentru verificarea rezistenței de izolație a unei instalații față de pămînt se procedează în modul următor: se scot întîi de la tablou siguranțele, astfel încît să fim siguri că instalația nu se află sub tensiune. Se închid, apoi, toate întrerupătoarele, se pun în circuit toate aparatele consumatoare de energie electrică și se verifică dacă becurile electrice sînt bine înșurubate la locurile lor. În acest mod, întreaga instalație și toate aparatele alcătuiesc un singur circuit care poate fi verificat ca atare. Pentru a se face măsurarea, un capăt al instalației se leagă la una dintre bornele aparatului (borna K), iar cealaltă bornă a aparatului (borna E) — la pămînt (fig. 184). Drept pămînt se folosește conducta de apă sau de gaz. Se învîrtește manivela și se apasă pe butonul P — dacă un asemenea buton există.

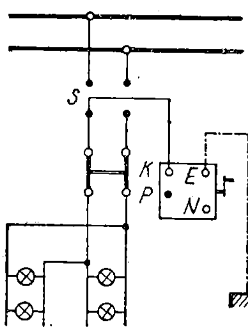


Fig. 184. Verificarea izolației unei instalații față de pămînt.

Se citește apoi indicația aparatului. Dacă acestă indicație este mai mare decît

$$U \times 1000\ \Omega,$$

în care U este tensiunea de utilizare, în volți, izolația globală a instalației față de pămînt este bună. În cazul cînd valoarea izolației este mai mică decît valoarea indicată mai sus, nu se poate spune că izolația instalației nu este bună, ci trebuie să se măsoare izolația diverselor circuite, deoarece, toate regulamentele indică valori de izolație pentru circuite separate și nu pentru instalații complete.

Pentru verificarea izolației unui circuit față de pămînt se deșurubează toate becurile și se scot din circuit toate aparatele de utilizare. În acest caz, schema de montaj este cea reprezentată în fig. 185. Dacă valoarea obținută prin această determinare este mai mică decît valorile indicate, izolația instalației nu este suficientă.

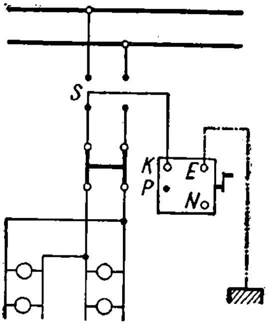


Fig. 185. Verificarea izolației unui circuit față de pămînt.

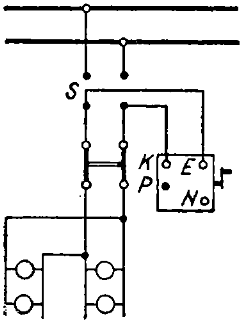


Fig. 186. Verificarea izolației a două circuite.

Din măsurările precedente nu se poate vedea dacă liniile sînt bine izolate între ele. Pentru aceasta, se face o nouă determinare, folosindu-se schema din fig. 186, toate lămpile și aparatele de utilizare fiind scoase din circuit. Dacă valoarea obținută prin această verificare este egală sau mai mare decît cea indicată în norme, se poate afirma că rezistența de izolație a instalației este bună.

În laboratoare, rezistențele foarte mari se măsoară prin mai multe metode, dintre care cea mai răspîndită este metoda substituției, metodă folosită și pentru măsurarea rezistențelor obișnuite.

Principiul metodei este următorul : se formează un circuit din rezistența mare de măsurat R_x, o baterie de acumulatoare de cel puțin 100 V și un galvanometru șuntat cu o rezistență variabilă (fig. 187). Fie S valoarea șuntului și α — deviația galvanometrului, după închiderea întrerupătorului K. Se înlocuiește rezistența R_x cu o rezistență cunoscută R și — pentru o altă valoare a șuntului, S' — se citește deviația α' a galvanometrului. Se variază șuntul pentru a se obține deviații α și α' cît mai apropiate sau, în cazul cînd cele două rezistențe R_x și R sînt foarte diferite, pentru a se obține deviații ușor de citit.

Dacă se notează expresia [1])

$$\frac{Ş}{g+Ş}=\frac{1}{n} \text{ respectiv } \frac{Ş'}{g+Ş'}=\frac{1}{n'},$$

valoarea rezistenței măsurate este dată de relația

$$R_x=\frac{\alpha}{\alpha'}\cdot\frac{n}{n'}\cdot R.$$

În această expresie, n, respectiv n', se numesc puterile de demultiplicare ale șuntului.

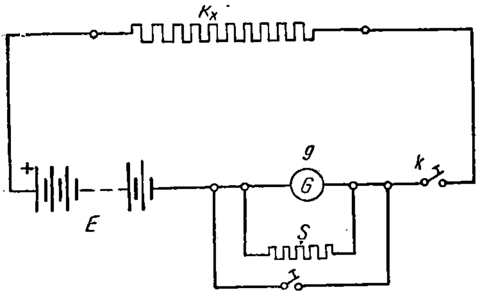


Fig. 187. Metoda substituției pentru măsurarea rezistențelor mari.

7) **Măsurarea rezistențelor prizelor de pămînt.** O priză de pămînt (sau un „pămînt", cum se spune în limbajul zilnic al electricienilor) trebuie să nu depășească o anumită rezistență electrică, astfel încît curentul care se scurge la pămînt să nu întîmpine o rezistență prea mare, fapt care ar avea ca urmare crearea unor zone periculoase în jurul acestor prize. Valoarea rezistenței unei prize de pămînt diferă de la instalație la instalație și este indicată de prescripții pentru fiecare caz în parte. Valoarea ei variază de la cîteva zecimi de ohm la cîțiva ohmi.

Rezistențele prizelor de pămînt nu pot fi măsurate decît în curent alternativ, deoarece curentul continuu ar provoca fenomene de electroliză în jurul prizelor de pămînt, ceea ce ar avea drept efect obținerea unor rezultate greșite. În cazul măsurărilor în curent alternativ, drept aparat de zero în punțile de măsură nu mai poate fi folosit un galvanometru magnetoelectric, [2]) ci acesta trebuie înlocuit printr-un telefon sau printr-un aparat electrodinamic.

---

[1]) V. la p. 29 semnificația acestei formule.
[2]) Nu se poate folosi în curent alternativ.

Există mai multe metode pentru determinarea valorii rezistențelor prizelor de pămînt. Oricare ar fi, însă, metoda, este necesar să folosim cel puțin încă două prize de pămînt auxiliare.

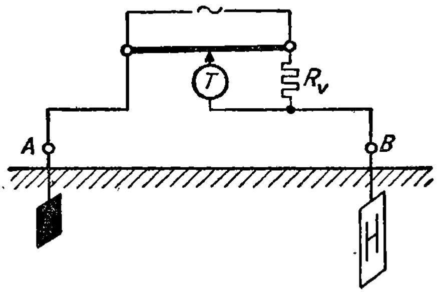


Fig. 188. Metoda lui Nippold pentru determinarea rezistenței prizelor de pămînt.

O primă metodă, numită metoda Nippold, se bazează pe principiul punții Wheatstone și folosește, în acest scop, o punte cu fir (fig. 188).

Modul de lucru cu această punte este indicat în fig. 189. Se echilibrează puntea și se obține valoarea rezistențelor de legare la pămînt a prizelor A și B. Fie R_{AB} această valoare. Se trece, apoi, la prizele B și C și, în sfîrșit, la prizele C și A. Dacă R_{AB}, R_{BC} și R_{CA} sînt valorile rezistențelor măsurate, se obțin următoarele trei relații :

$$R_A + R_B = R_{AB}$$
$$R_B + R_C = R_{BC}$$
$$R_C + R_A = R_{CA}$$

din care deducem valoarea rezistenței căutate

$$R_A = \frac{R_{AB} - R_{BC} + R_{CA}}{2}.$$

Metoda expusă mai sus este greoaie și necesită un timp destul de lung. Astăzi, există aparate cu ajutorul cărora se măsoară direct valoarea rezistenței unei prize de pămînt — deși și aceste aparate folosesc prize auxiliare. Schema de montaj a unui asemenea aparat este reprezentată în fig. 191. Prizele auxiliare se așază la circa 20 m una de alta și la 20 m de priza de pămînt care trebuie măsurată [1]). Prin învîrtirea manivelei inductorului, se produce curentul electric necesar măsurării. Cu ajutorul rezistenței e, acul galvanometrului este adus la zero. Atunci, se citește pe cadranul rezistenței e direct valoarea rezistenței prizei de pămînt măsurate. În fig. 190 este reprezentat aspectul exterior al unui aparat de măsurat prizele de pămînt, iar în fig. 191 este reprezentat modul în care se fac legăturile exterioare pentru efectuarea măsurărilor cu un asemenea aparat.

[1]) Aceleași distanțe între prizele auxiliare trebuie luate și în cazul precedent.

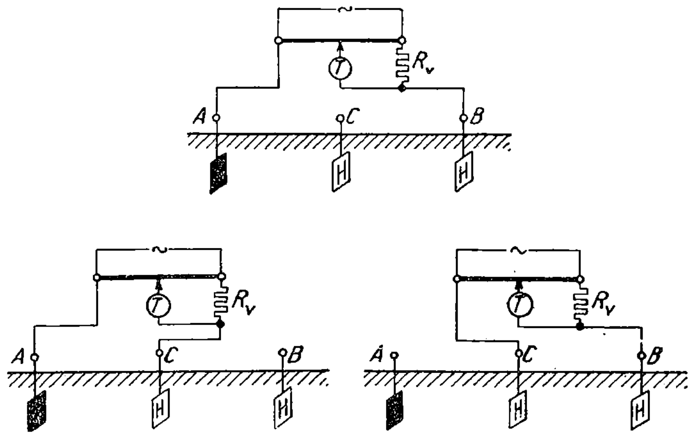


Fig. 189. Folosirea prizelor auxiliare (*H*) la măsurarea rezistențelor prizelor de pămînt.

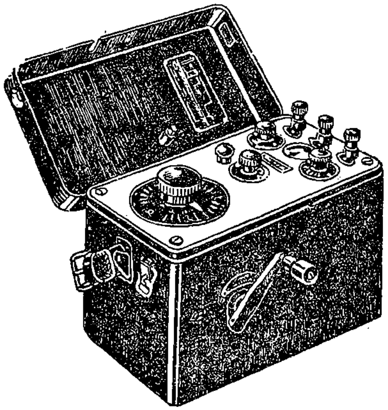


Fig. 190. Aspectul exterior al unui aparat pentru măsurarea rezistențelor prizelor de pămînt.

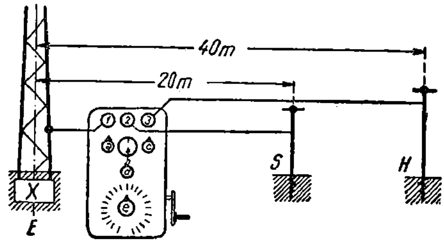


Fig. 191. Schema de montaj a aparatului de măsurat rezistențele prizelor de pămînt.

8) **Determinarea locurilor defectelor în cabluri sau în linii aeriene.** Determinarea locului în care s-a pus la pămînt un cablu, atunci cînd cablul nu este rupt, se reduce la măsurarea unei rezistențe. În adevăr, se știe că rezistența unui conductor electric, omogen și cu secțiunea uniformă, este proporțională cu lungimea lui.

Se deosebesc mai multe cazuri:

— linia la care trebuie determinat locul defectului este dublă sau triplă (are două sau trei conductoare), numai unul dintre conductoare fiind defect;

— linia la care trebuie determinat locul defectului este simplă și dispunem de o linie auxiliară;

— nu dispunem de o linie auxiliară.

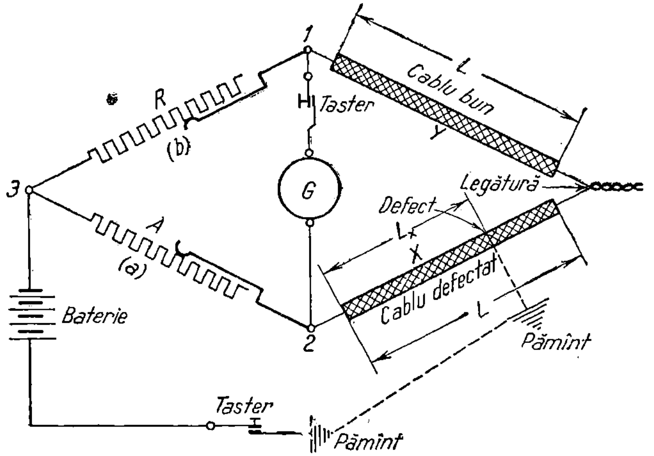


Fig. 192. Schema de principiu pentru determinarea defectelor în linii și cabluri cînd se dispune de o linie sau un cablu auxiliare.

a) În primul caz, cele două linii — cea defectată și cea bună — se leagă împreună la unul dintre capete. Cu bucla astfel obținută se formează două brațe ale unei punți Wheatstone (fig. 192). Celelalte două brațe se formează din rezistențele variabile R și A, care pot fi reglate pentru a se echilibra puntea. Galvanometrul se conectează la bornele buclei, iar bateria — între pămînt și celălalt nod al punții, unul dintre nodurile punții fiind constituit chiar de locul defectului. Pentru măsurare putem folosi o punte cu fir sau o punte cu rezistențe.

Cînd puntea este echilibrată

$$\frac{L_x}{2L-L_x}=\frac{a}{b}$$

în care L este lungimea cablului auxiliar și defectat;
L_x — distanța de la nodul 2 al punții la locul defectului;
a și b sînt rezistențele brațelor A și R ale punții.

De aici rezultă distanța de la locul unde se efectuează măsurătoarea la punte pînă la locul defectat al cablului

$$L_x=2L\frac{a}{a+b}.$$

Observații. 1. În calculul de mai sus s-a presupus că lungimea conductorului ajutător este egală cu lungimea conductorului defect și că cele două conductoare au aceeași secțiuni. Dacă conductorul defect ar fi avut lungimea L iar conductorul ajutător — lungimea L_A, relația în cazul echilibrării punții ar fi fost

$$\frac{L_x}{L_A+L-L_x}=\frac{a}{b},$$

de unde

$$L_x=(L_A+L)\frac{a}{a+b}.$$

2. Rezistența conductorului care leagă cele două cabluri, cum și cea a conductoarelor de legătură la punte trebuie să fie foarte mică, pentru a putea fi neglijată în calcule. În caz contrar trebuie să se țină seama de ele, așa cum se va vedea mai jos.

b) În cazul al doilea, dacă conductorul auxiliar are aceeași secțiune ca și conductorul defect, calculul este identic cu cel efectuat în cazul precedent. Dacă, însă, are o altă secțiune, trebuie calculată lungimea sa echivalentă unei secțiuni egale cu cea a conductorului defect.

Pentru aceasta facem următorul raționament:

Fie L_A — lungimea conductorului ajutător și S_A — secțiunea lui; fie S secțiunea conductorului defectat și L'_A — lungimea sa echivalentă. Dacă conductorul auxiliar ar avea secțiunea 1 lungimea ar fi — pentru aceeași rezistență — de S_A ori mai mică, adică L_A/S_A: dacă secțiunea s-ar mări acum de S ori, pentru a se păstra aceeași rezistență, ar trebui să se mărească și lungimea de S ori, adică:

$$L'_A=L_A\frac{S}{S_A}.$$

Montajul punții rămînînd același ca în primul caz, cînd puntea este echilibrată se poate scrie relația :

$$\frac{L_x}{L'_A+L-L_x}=\frac{a}{b},$$

de unde

$$L_x=(L'_A+L)\frac{a}{a+b}$$

sau, ținînd seama de valoarea lui L'_A, obținem

$$L_x=\left(L+L_A\frac{S}{S_A}\right)\frac{a}{a+b}.$$

Observație. In același mod se calculează și lungimile echivalente ale cablurilor de legătură la punte, iar lungimile astfel obținute se adaugă la lungimile corespunzătoare ale conductoarelor auxiliar și defectat.

c) În al treilea caz, cînd nu dispunem de un conductor auxiliar, se realizează o punte cu trei rezistențe variabile, al patrulea braț fiind format din conductorul defect [1]). Un punct al punții se leagă la pămînt (fig. 193).

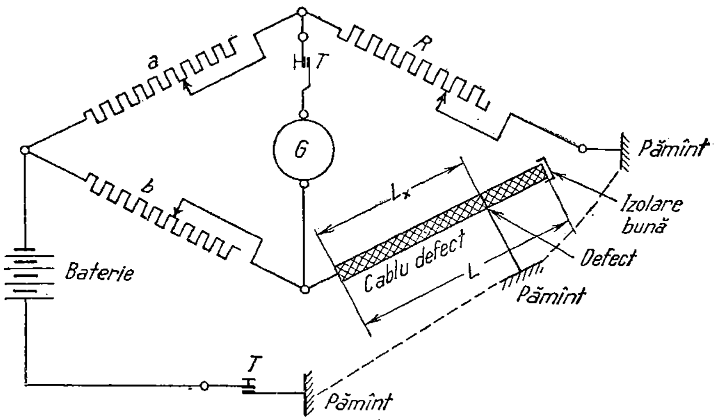


Fig. 193. Schema de principiu pentru determinarea defectelor în linii și cabluri cînd nu se dispune de un conductor auxiliar.

Pentru determinarea defectului se fac două măsurări, cîte una de la fiecare capăt, celălalt capăt fiind bine izolat. Puntea

---

[1]) Metoda este corectă numai dacă rezistența legăturii la pămînt la locul defectului e neglijabilă față de rezistența liniei.

se echilibrează în ambele cazuri, obținîndu-se rezistențele a, b, R, a_1, b_1 și R_1 ; rezultă relațiile

$$R_x = R\frac{a}{b} \text{ și } R_{1x} = R_1\frac{a_1}{b_1}.$$

Dar

$$R_x = \rho\frac{L_x}{S} \text{ și } R_{1x} = \rho\frac{L-L_x}{S}$$

în care L este lungimea liniei, L_x este distanța de la nodul punții pînă la locul defectului. S — secțiunea conductorului și ρ — rezistivitatea materialului din care este construită linia.

Din relațiile de mai sus, se obține :

$$\frac{L-L_x}{L_x} = \frac{R_1}{R}\cdot\frac{a_1}{a}\cdot\frac{b}{b_1}$$

de unde rezultă

$$L_x = \frac{R\cdot a\cdot b_1}{R_1\cdot a_1\cdot b+R\cdot a\cdot b_1}L.$$

În afară de metodele indicate mai sus, există și alte metode cu ajutorul cărora se poate determina locul defectului într-o linie electrică sau într-un cablu. Unele dintre aceste metode se bazează pe măsurarea rezistenței de izolație, altele pe măsurarea capacității cablului. Acestea din urmă, care dau rezultate bune numai în cazul cablurilor, se folosesc în special atunci cînd cablul este rupt.

C. Măsurări de capacități

1. Orice sistem electric alcătuit din două conductoare (armături) separate între ele printr-un izolant oarecare (aer sau alt izolant) și între care este aplicată o tensiune oarecare, formează condensator electric.

Capacitatea unui condensator este definită ca fiind raportul dintre cantitatea de electricitate care se găsește pe o armătură și diferența de potențial dintre armături.

Capacitatea se măsoară în farazi (F). Deoarece această unitate de măsură este prea mare, în practică se folosește un submultiplu al său, microfaradul (μF), care este a milioana parte dintr-un farad.

Capacitatea unui condensator nu depinde nici de cantitatea de electricitate de pe armături și nici de tensiunea aplicată armăturilor. Ea depinde numai de dimensiunile geometrice ale condensatorului și de natura izolantului dintre armături.

2. Există foarte multe metode de măsurare a capacităților. Ca și în cazul rezistențelor, valoarea unei capacități se determină în montaje speciale, prin comparație cu capacități cunoscute.

Metodele de măsurare a capacităților se împart în metode de laborator și metode industriale.

a) *Metode de laborator. Metoda comparației.* În cazul aplicării metodei comparației, condensatorul de măsurat se compară cu un condensator a cărui capacitate este cunoscută (un condensator etalon). Se face montajul reprezentat în fig. 194, în care E este o sursă de energie (o baterie de acumulatoare de 24 V), C_0 — condensatorul etalon, C — condensatorul de măsurat, B — un galvanometru balistic, iar K — un întrerupător cu godeuri de mercur.

Modul de efectuare a măsurării este următorul : se face legătura *3—4*, încărcîndu-se condensatorul etalon C_0. Se descarcă, apoi, acest condensator în galvanometrul balistic, făcîndu-se legătura *2—4*. Se obține o elongație α_0. Se încarcă, apoi, condensatorul C, făcîndu-se legătura *1—3*. În sfîrșit se descarcă și condensatorul C în balistic, prin legătura *1—2*, obținîndu-se elongația α.

Valoarea capacității căutate este dată de relația

$$C = C_0 \frac{\alpha}{\alpha_0}.$$

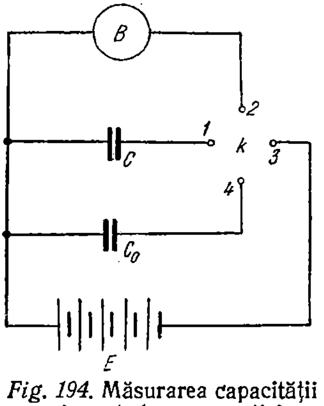


Fig. 194. Măsurarea capacității prin metoda comparației.

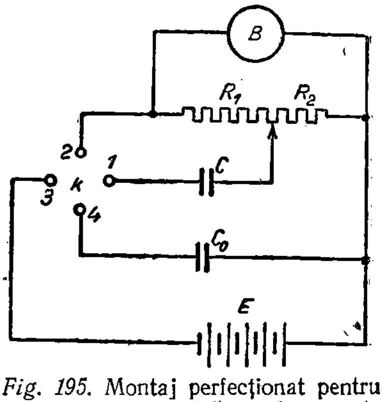


Fig. 195. Montaj perfecționat pentru măsurarea capacităților prin metoda comparației.

Metoda dă rezultate destul de exacte. Pentru măsuri de mai mare precizie, montajul din fig. 194 trebuie puțin modificat, prin șuntarea galvanometrului balistic și prin legarea unuia dintre

condensatoare la această rezistență de șuntare, locul de legare fiind variabil (fig. 195). Modul de lucru este același ca și în cazul precedent, cu deosebirea că — de data aceasta — se caută ca cele două elongații să fie egale, ceea ce se obține variindu-se rezistența R_1. În acest caz, valoarea capacității căutate este dată de relația

$$C = C_0 \frac{R}{R_1},$$

în care

$$R = R_1 + R_2.$$

Pentru măsurări de foarte mare precizie în laboratoare se folosesc montajele în punte.

b) *Metoda industrială.* Metoda industrială este analogă cu metoda voltmetrului și a ampermetrului folosită pentru măsurarea rezistențelor electrice. Montajul este reprezentat în fig. 196. Închizînd întrerupătorul K, se citesc indicațiile tuturor aparatelor de măsurat. Valoarea capacității măsurate este dată de relația

$$C = \frac{I}{2\pi f U} \text{ în farazi}$$

în care: I este valoarea curentului măsurat cu ampermetrul, în A;
U — tensiunea la bornele condensatorului măsurată cu voltmetrul, în V;
f — frecvența rețelei, măsurată cu frecvențmetrul F, în Hz.

În cazul cînd se cere o precizie mai mare a măsurării, trebuie să se țină seamă de consumația voltmetrului. Dacă g este rezistența voltmetrului, exprimată în ohmi, valoarea capacității este dată în acest caz de relația:

$$C = \frac{\sqrt{I^2 - \frac{U^2}{g^2}}}{2\pi f U}.$$

c) *Faradmetrul.* Faradmetrul este un aparat cu ajutorul căruia se măsoară direct capacitatea unui condensator. Un asemenea aparat este construit pe principiul logometrelor electromagnetice (fig. 197). Cuplurile care acționează asupra fiecăruia dintre cele două echipaje mobile fiind

$$M_A = I_A f_1(\alpha) \text{ și } M_B = I_B f_2(\alpha),$$

α fiind deviația echipajului mobil, la echilibru vom avea

$$M_A = M_B,$$

de unde rezultă

$$\frac{I_A}{I_B}=\frac{f_2(\alpha)}{f_1(\alpha)}=f_3(\alpha).$$

Cum

$$I_A=C_x\omega U \text{ și } I_B=C_0\omega U,$$

rezultă

$$\frac{I_A}{I_B}=\frac{C_x}{C_0}=f_3(\alpha)$$

și deci

$$\alpha=f\left(\frac{C_x}{C_0}\right),$$

adică deviația α depinde de valoarea C_x a capacității care trebuie măsurată.

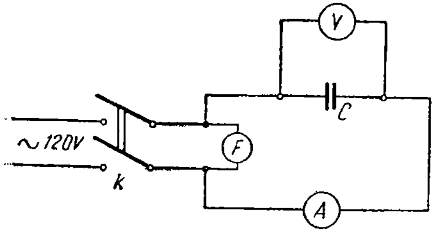


Fig. 196. Metoda industrială pentru măsurarea capacităților.

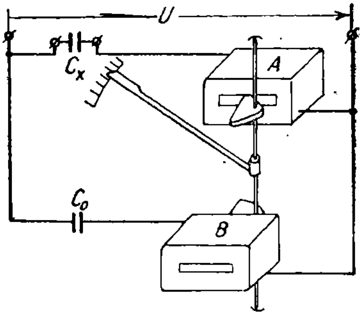


Fig. 197. Schema de principiu a unui faradmetru.

3. Determinarea locului defectat al unui cablu rupt.

În cazul cînd, din cauza unui defect, cablul este rupt, pentru determinarea locului defect nu se mai poate aplica nici una dintre metodele date (prin măsurarea rezistențelor). În acest caz, locul defectului se poate determina prin măsurarea capacității cablului, deoarece capacitatea cablului este proporțională cu lungimea sa.

Pentru aceasta se folosește montajul din fig. 198 în care B este un galvanometru balistic, E — o baterie de acumulatoare, II și I întrerupătoare în circuitul bateriei și al galvanometrului, R_1, R_2, R_3 rezistențe de protecție și reglaj.

Se fac măsurări la cele două capete ale cablului „încărcînd" cablul defect de la sursa E, prin punerea întrerupătoarelor II și I în poziția din figură și apoi „descărcîndu-l" în galvanometrul

balistic punînd întrerupătorul I în poziția inferioară. În acest caz galvanometrul va da o indicație α_1 proporțională cu capacitatea C_x a cablului și deci cu lungimea l_x.

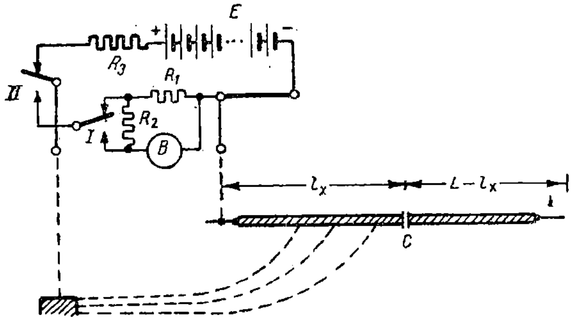


Fig. 198. Montaj pentru determinarea locului în care s-a rupt un cablu, prin măsurarea capacităților :
E – sursă de tensiune constantă ; B – galvanometru balistic.

Se repetă măsurarea la celălalt capăt al cablului. Se obține indicația α_2 proporțională cu $L—l_x$.

Avem deci :

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{l_x}{L-l_x}.$$

De unde :

$$l_x = L\,\frac{\alpha_1}{\alpha_1+\alpha_2}.$$

D. Măsurări de inductanțe

Inductanța este o mărime care intervine în curent alternativ și care caracterizează producerea fluxului magnetic de către o bobină sau un circuit, la trecerea curentului electric. Inductanța se măsoară în henry (H).

Metodele de măsurare a inductanței în laborator necesită aparataj special, astfel încît efectuarea lor este destul de delicată. Aceste metode ies din cadrul lucrării de față.

Metodele industriale sînt analoge celor folosite pentru măsurarea rezistențelor și se realizează prin utilizarea unui voltmetru, a unui ampermetru și a unui frecvențmetru.

Se realizează un montaj format din inductanța care trebuie măsurată, în serie cu un ampermetru și alimentat, prin inter-

mediul unui comutator K, atît în curent continuu, cît și în curent alternativ (fig. 199). Voltmetrul se montează la bornele inductanței în montaj aval sau amonte.

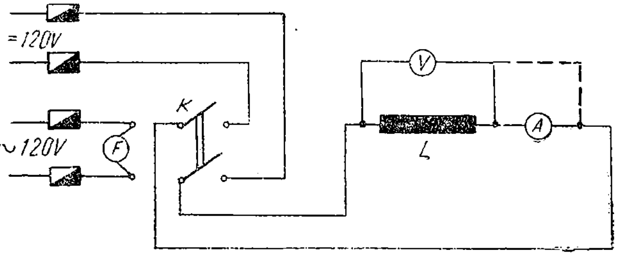


Fig. 199. Metodă industrială pentru măsurarea inductanțelor.

Efectuîndu-se măsurarea în curent continuu, se deduce rezistența, iar prin măsurarea în curent alternativ se obține impedanța circuitului

$$Z=\sqrt{R^2+L^2\omega^2}=\frac{U\sim}{I\sim}.$$

Ținînd seama de faptul că $\omega=2\pi f$, f fiind frecvența rețelei măsurată cu frecvențmetrul F, din cele două relații se deduce inductanța

$$L=\frac{\sqrt{Z^2-R^2}}{2\pi f}.$$

Ca și în cazul măsurării rezistențelor, vom folosi metoda amonte în cazul cînd Z este mare și metoda aval — cînd Z este mic.

TABLA DE MATERII

Redactor responsabil : Ing. ROGAI ELIFERIE
Tehnoredactor : IVAN THEODOR

Dat la cules : 25.05.1962. Bun de tipar : 04.08.1962. Apărut 1962. Tiraj : 10 000+140+15 Broșate. Hîrtie semivelină de 65 g/m², 610×860/16. Coli editoriale 10,22. Coli de tipar 11,25 A 01646/1962
C. Z. pentru bibliotecile mari 621.317
C. Z. pentru bibliotecile mici 621.

Tiparul executat sub comanda nr. 3472 la Întreprinderea Poligrafică Timișoara, str. Popa Șapcă nr. 8. — R.P.R.